ÜBER QUARZZWILLINGE
MIT NICHT-PARALLELEN HAUPTAXEN

INAUGURAL-DISSERTATION
ZUR ERLANGUNG DER DOKTORWÜRDE
DER HOHEN PHILOSOPHISCHEN FAKULTÄT
DER UNIVERSITÄT BASEL

ACAD.
LUGD.BAT.
BIBL.

VORGELEGT VON

FORTUNAT ZYNDEL
AUS MAIENFELD

LEIPZIG UND BERLIN
WILHELM ENGELMANN
1913

Genehmigt von der mathematisch-naturwissenschaftlichen Abteilung der philosophischen Fakultät auf Antrag der Herren Professoren Dr. C. Schmidt und Dr. A. Hagenbach.

Basel, den 7. Juni 1912. R. Fueter, Dekan.

Sonderabdruck aus »Zeitschrift für Krystallographie«. 53. Band, 1. Heft.

Einleitung.

Im Gegensatz zu den häufig vorkommenden Quarzzwillingen mit parallelen Hauptaxen sind Quarzzwillinge mit nichtparallelen oder geneigten Hauptaxen bis jetzt nur an wenigen Orten und meistens nur in geringer Zahl gefunden worden.

Das bekannteste Gesetz der Gruppe von Quarzzwillingen mit nichtparallelen Hauptaxen ist das Japaner Gesetz [Zwillingsebene $\xi(11\bar{2}2)$, $(52\bar{1})$]. Es wird in allen größeren Lehrbüchern der Mineralogie aufgeführt. Andere Gesetze finden nur in Handbüchern Erwähnung. Dabei werden sie aber gewöhnlich nicht zu den eigentlichen Zwillingen, sondern zu den regelmäßigen Verwachsungen gestellt. Als solche werden z. B. in C. Hintze's Handbuch der Mineralogie (Bd. I, S. 1334) aufgezählt die Gesetze von G. Rose [Zwillingsebene $r(10\bar{1}1)$, (100)], von Q. Sella [Zwillingsebene $p(10\bar{1}2)$, (411)], E. Kaiser [Zwillingsebene $(30\bar{3}4)$, $(10.1.\bar{1})$], G. Jenzsch (Zinnwalder Gesetz und Zwickauer Gesetz), G. Friedel (rechtwinklige Durchkreuzungen) u. a. m.

Der Grund dafür, daß einige von den eben aufgezählten gesetzmäßigen Verbindungen von Quarzkrystallen von den meisten Krystallographen allgemein nur als regelmäßige Verwachsungen und nicht als eigentliche Zwillinge betrachtet werden, mag darin liegen, daß man sie zurzeit nur als vereinzelte Fälle kennt und deshalb ihre geometrischen Gesetzmäßigkeiten als bloß zufällige anzusehen geneigt ist. Sonst wäre nicht einzusehen, warum z. B. Verwachsungen von Quarzkrystallen nach einer Fläche (100) (G. Rose) oder nach einer Fläche (411) (Q. Sella) nicht ebensogut als Zwillinge bezeichnet werden könnten wie Verwachsungen nach $(52\bar{1})$ (Japaner Gesetz, C. S. Weiß).

Bei einigen anderen Verwachsungen (Jenzsch's Zinnwalder Gesetz und Zwickauer Gesetz, Friedel's rechtwinklige Durchkreuzungen) geschieht die Ausschaltung aus der Reihe der Zwillinge hauptsächlich deshalb, weil bei ihnen eine Zwillingsebene oder eine Zwillingsaxe und damit ein nach den landläufigen Anschauungen notwendiges Merkmal des Zwillings fehlt.

Bei einer Untersuchung der Quarzzwillinge mit nichtparallelen Hauptaxen mußte nach obigem vor allem darnach getrachtet werden, neue Vertreter für jedes dieser seltenen Gesetze zu finden. Ließen sich solche finden in einer Zahl, daß das Vorkommen einer bestimmten Verwachsungsart nicht mehr als zufällig angesehen werden konnte, so war im weiteren noch zu entscheiden, ob die Regelmäßigkeiten der Verwachsung wirklich als einen Zwilling charakterisierend anzusehen seien.

Nun ist es mir bei der Durchmusterung einiger tausend Quarzkrystalle in der Tat gelungen, für einige der Gesetze neue Vertreter zu finden. Außerdem habe ich nun Verwachsungsarten von Quarzkrystallen gefunden von ähnlicher Gesetzmäßigkeit, wie sie einen Teil der bereits von anderer Seite als Zwillinge beschriebenen Quarzverwachsungen charakterisieren. Bei der Entscheidung darüber, ob in jedem bestimmten Falle die Verwachsung von zwei Quarzkrystallen als eine zwillingsmäßige angesehen werden könne, habe ich mich an die Definition gehalten, die V. Goldschmidt (diese Zeitschr. 44, 584) von einem Zwilling gibt. Sie lautet:

Zwilling ist die zweiaxige Verwachsung zweier gleichartiger Krystalle.

Dabei ist:

Homozwilling: homoaxiale } zweiaxige Verwachsung zweier gleichartiger
Heterozwilling: heteroaxiale } Krystalle.

Im Anschlusse an die geometrischen Betrachtungen ist auch versucht worden, eine genetische Erklärung der Zwillinge nach den einzelnen Gesetzen zu geben. Diese Erklärungen geschahen im Sinne der Goldschmidt'schen Anschauungen über Zwillingsbildung.

Noch eine weitere Frage wurde in Angriff genommen. Die eingehende Untersuchung der Zwillinge nach dem Japaner Gesetze hat ergeben, daß in der Verwachsungsregion der verzwillingten Individuen Anomalien des inneren Baues vorhanden sind, deren Grad abnimmt mit zunehmender Entfernung von der Verwachsungsregion. Einige Beobachtungen, die an Quarzzwillingen nach anderen Gesetzen gemacht werden konnten, lassen erwarten, daß solche Anomalien ganz charakteristische sein werden für jedes der am Quarze auftretenden Zwillingsgesetze. Das weitere Studium der Erscheinungen verspricht interessante Resultate über die orientierende Wirkung der beim Wachstum wirkenden Partikelkräfte.

In der vorliegenden Publikation sollen hauptsächlich die geometrischen Verhältnisse der Quarzzwillinge mit nichtparallelen Haupt-

axen behandelt werden. Mitteilungen über den inneren Bau der nach den verschiedenen Gesetzen verzwillingten Individuen werden folgen.

Den Anstoß zu meinen Studien über Quarzzwillinge gab eine Preisaufgabe, die von der mathematisch-naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Basel nach einem Vorschlage von Prof. Dr. C. Schmidt auf das Jahr 1910 gestellt worden war. Herrn Prof. Dr. C. Schmidt möchte ich vor allem danken für die Anregung, die Frage zu lösen zu versuchen, und im weiteren für die mir gewährte Unterstützung mit Material und Literatur. Besten Dank schulde ich ferner Herrn Prof. Dr. V. Goldschmidt in Heidelberg für sein Interesse an meinen Untersuchungen. Für die Unterstützung mit Untersuchungsmaterial bin ich außer den beiden Genannten auch noch folgenden Herren zu Dank verpflichtet: Prof. Dr. E. Bücking in Straßburg i. E., Prof. Dr. Joh. Koenigsberger in Freiburg i. Br., Dr. J. Drugman in Oxford, Privatdozent Dr. A. Buxtorf, Dr. Th. Engelmann, Dr. E. Baumberger in Basel, Prof. Dr. E. Künzli in Solothurn, Prof. Dr. A. Baltzer, Prof. Dr. E. Hugi, Dr. E. Gerber in Bern, Prof. Dr. Chr. Tarnuzzer in Chur.

I. Quarzzwillinge mit Deckung von b_2 mit b_2'.

1. Das Zwickauer Gesetz Jenzsch's.

G. Jenzsch[1]) definierte das Zwickauer Gesetz folgendermaßen:

»Ebene der Hauptaxen parallel einer Fläche des hexagonalen Prismas *b* und zwei Dihexaëder-Polkanten des einen mit zwei Kanten des hexagonalen Prismas *b* des anderen Krystalles parallel.«

Dabei versteht Jenzsch unter der Ebene der Hauptaxen eine Ebene, in welcher die Hauptaxen beider einem Zwillinge zugehörigen, gekreuzten Krystalle liegen.

Jenzsch fand bei den Krystallographen seiner Zeit keine Anerkennung für das Zwickauer Gesetz. Bald geriet es in Vergessenheit. In neuerer Zeit wird es wieder erwähnt von C. Hintze in seinem Handbuche der Mineralogie, Bd. I, 1335. Doch zählt auch er es nicht zu den gesicherten Zwillingen. Hintze ist vielmehr der Ansicht, daß das Zwickauer Gesetz (mit dem Zinnwalder Gesetz) nur in der von Jenzsch gewählten Ausdrucksweise einen Schein von Existenzmöglichkeit erhalte, im übrigen jeglicher Krystallonomie entbehre«.

Ähnlicher Meinung wie Hintze war früher auch V. Goldschmidt. Noch 1905[2]) stellt er Jenzsch's Zwickauer Gesetz zu den unsicheren Zwillingsgesetzen. Messungen und Beobachtungen jedoch, die er später[3]) an einem Quarzzwilling aus der Sammlung G. Seligmann's anstellen

1) Pogg. Ann. 1868, **134**, 540.

2) Tscherm. Mitt. 1905, N. F. **24**, 181; Ausz. diese Zeitschr. **44**, 100.

3) Diese Zeitschr. 1908, **44**, 407.

konnte, ließen ihn diesen Zwilling dem Zwickauer Gesetze unterordnen und damit das Gesetz als gesichert betrachten.

Mit der Unterordnung der Seligmann'schen Gruppe unter das Zwickauer Gesetz war Goldschmidt im Unrecht. Wie im nächsten Kapitel gezeigt werden soll, entsprechen die geometrischen Verhältnisse desjenigen Gesetzes, dem Goldschmidt bei der Entstehung des Seligmann'schen Zwillings die Hauptwirkung zuschreibt und das er als identisch mit Jenzsch's Zwickauer Gesetz betrachtet, in Wirklichkeit nicht diesem, sondern einem neuen Gesetze. Ohne es zu merken, hat Goldschmidt dieses neue Gesetz mit Jenzsch's Zwickauer Gesetz verwechselt und so irrtümlicherweise den Seligmann'schen Zwilling nach dem Zwickauer Gesetze benannt.

Nun ist es mir aber doch geglückt, vier unzweifelhafte Vertreter von Jenzsch's Zwickauer Gesetz aufzufinden. Ich selbst besitze zwei solcher Zwillinge nach dem Zwickauer Gesetze von Seedorf (Kanton Uri). Ein dritter Zwickauer Zwilling, vom Finsteraarhorn stammend, gehört dem Solothurner naturhistorischen Museum; ein vierter, von Disentis, fand sich an einer prächtigen Quarzgruppe der mineralogischen Sammlung der Universität Straßburg i. E.

Diese vier Zwickauer Zwillinge sollen im folgenden kurz beschrieben werden.

a) Erster Zwilling nach dem Zwickauer Gesetz von Seedorf.

Die Gruppe ist in Parallelprojection dargestellt in Fig. 1, Taf. I. Zwei ungleich große Individuen I und II sind miteinander verwachsen.

Individuum I ist 9 mm lang, $4\frac{1}{2}$ mm breit, 5 mm dick. Es besitzt außer den gewöhnlichen Flächen $brq = (10\bar{1}0)\ (2\bar{1}\bar{1}),\ (10\bar{1}1)\ (100,\ 22\bar{1})$ eine Rhombenfläche $S_3 = (2\bar{1}\bar{1}1)\ (4\bar{2}1)$. Diese liegt links oben über b_2. Sie ist gestreift parallel der Combinationskante $b_3 : r_2$. Der Rhomboëderfläche r_2 kommt positives Vorzeichen zu. Darnach ist der Krystall als ein linker zu betrachten. Anzeichen für Zwillingsbildung nach Dauphinéer- oder Brasilianerart sind keine vorhanden.

Individuum II ist 2 mm lang, $1\frac{1}{2}$ mm breit, $1\frac{1}{2}$ mm dick. Mit dem auf der Figur abgewendeten Teile steckt es in Individuum I. An dem freien Teile sind vorhanden: 3 Prismen- und 7 Rhomboëderflächen. Von diesen letzteren sind im Bilde nur 6 sichtbar.

In der Art der Verwachsung lassen sich die folgenden Regelmäßigkeiten erkennen:

es sind parallel:

die Prismenflächen b_2 von I und b'_2 von II

die Prismenkanten von I und die 2 Dihexaëderkanten $\underline{r'_6} : \underline{r'_1}$ und $\underline{r'_3} : \underline{r'_4}$ von II

» » » II » » 2 » $\underline{r_6} : \underline{r_1}$ » $\underline{r_3} : \underline{r_4}$ »

Wie man sieht, entsprechen diese Regelmäßigkeiten den charakteristischen Merkmalen des Zwickauer Gesetzes in Jenzsch's Fassung.

Die Messung der Gruppe mittelst des einkreisigen Goniometers ergab, daß die Positionen der Flächen und der von ihnen gebildeten Zonen genau den Forderungen des Zwillingsgesetzes entsprechen.

Eine Übersicht über den Flächen- und Zonenverband des Zwillings gibt die gnomonische Projection der Fig. 1, Taf. III. In diesem Bilde sind die zu dem großen Krystalle I gehörigen Punkte durch gefüllte Ringe, die zu dem kleineren Krystalle II gehörigen durch leere Ringe eingezeichnet.

Projectionsebene ist die in beiden Individuen parallele Prismenfläche b_2.

Im Zentrum des Bildes decken sich die Flächenpunkte b_2 von I und b'_2 von II. Dieses Zusammenfallen von Prismenpunkten entspricht der Parallelität der Prismenebenen.

Im weiteren decken sich: Zone $[b_1\ b_2\ b_3]$ von I mit Zone $[r'_1\ b'_2\ \varrho'_3]$ von II.
» $[\varrho_1\ b_2\ r_3]$ » I » » $[b'_1\ b'_2\ b'_3]$ » II.

Dieses Zusammentreffen von Zonen entspricht dem oben erwähnten Parallelismus gewisser Kanten.

Bei unserer Gruppe haben wir außer dem Zusammenfallen je einer Flächennormale auch Zusammenfallen von je zwei Zonen der beiden Individuen.

Die Verwachsung gehört also zu den Zwillingen im Sinne Goldschmidt's. Da ungleiche Zonen sich decken — Prismenzonen mit Trapezoëderzonen — ist sie als **Heterozwilling** zu bezeichnen.

Aus dem gnomonischen Bilde läßt sich folgende genetische Bezeichnung des Gesetzes ablesen:

Hauptbinder: Prismenfläche b_2.
Hauptbindezonen: je eine Prismenzone und je eine Trapezoëderzone.

Den Vorgang der Verknüpfung zu zwillingsmäßiger Verwachsung können wir uns vorstellen:

Es erfolgt erst Anheften und Einrichten von b_2. Dann ist noch eine Drehung um b_2 möglich. Fixieren in Zwillingsstellung geschieht durch Einschnappen der Prismenzonen mit den Trapezoëderzonen.

Bei unserer Gruppe lassen das Größenverhältnis und die gegenseitige Begrenzung der verzwillingten Individuen darauf schließen, daß Individuum II jünger ist als Individuum I und erst nachträglich an dieses sich angesetzt hat.

b) Zweiter Zwilling nach dem Zwickauer Gesetz von Seedorf.

Die Gruppe ist in Parallelprojection dargestellt in Figur 2, Tafel I. Ein größeres Individuum I trägt eine Anzahl kleinerer Individuen, die mit ihm teils unregelmäßig, teils regelmäßig verwachsen sind. Von den letzteren wurde in der Figur eines gezeichnet und mit II bezeichnet.

Individuum I ist 14 mm lang, 6 mm breit, $4\frac{1}{2}$ mm dick. Es zeigt die gewöhnliche Ausbildung b, r, ϱ. Seine Rhomboëderflächen sind etwas gerundet.

Individuum II ist viel kleiner. Es ist 1 mm lang, $\frac{1}{2}$ mm breit, $\frac{1}{2}$ mm dick. An Flächen sind vorhanden: 3 Prismenflächen und 6 Rhomboëderflächen. Mit dem in der Figur abgewendeten Teile steckt es in I.

In der Art der Verwachsung lassen sich folgende Regelmäßigkeiten erkennen:

die Flächen b_2 von I und b'_2 von II
es sind parallel die Zonen $[b_2\, \varrho_3\, r_4]$ von I und $[b'_1\, b'_2\, b'_3]$ von II
» » $[b_1\, b_2\, b_3]$ » I » $[r'_6\, \varrho'_1\, b'_2]$ » II.

Die Messung ergab das genaue Zusammenfallen dieser Deckflächen und dieser Deckzonen. Auch diese Gruppe ist somit als Zwilling nach Jenzsch's Zwickauer Gesetz zu betrachten.

Die formelle und die genetische Bezeichnung dieses Zwillings sind ähnlich wie beim ersten Zwickauer Zwilling von Seedorf.

c) Zwilling nach dem Zwickauer Gesetz vom Finsteraarhorn.

Die Gruppe ist in Parallelprojection dargestellt in Figur 3, Taf. I.

Ein großes, 8 cm langes und 4 cm breites Individuum I trägt eine Anzahl kleinerer Individuen. Eines von diesen ist mit I regelmäßig verwachsen. Es wurde in der Figur mit abgebildet und als II bezeichnet.

Individuum II ist 6 mm lang, 3 mm breit, $\frac{3}{4}$ mm dick. Von seinen Flächen ist stark vorherrschend eine Prismenfläche (b_2). Nach dieser Fläche ist das Individuum stark abgeplattet.

Über die Prismenfläche b_2 des Individuums II verläuft ein Knick. Er ist in der Figur als Linie angedeutet, die von oben nach unten über die Fläche verläuft. Der in der Figur rechts von dieser Linie liegende Teil der Prismenfläche bildet mit b_2 von I einen Winkel von ungefähr einem Grad, der links liegende Teil ist ihr parallel. Außer dieser Regelmäßigkeit in der Verwachsung der beiden Individuen zeigt sich ein Parallelismus der Prismenkanten von II mit der Kante $b_2 : \varrho_1$ von I. Der Winkel der sich kreuzenden Hauptaxen, der für diesen Fall nach Rechnung $42^0 17^0$ beträgt, wurde an unserem Zwilling mit dem Anlegegoniometer zu $42\frac{1}{2}^0$ bestimmt. Es darf deshalb wohl Zusammenfallen der Zonen $[b'_3\, b'_2\, b'_1]$ von II mit $[b_2\, \varrho_1\, r_6]$ von I angenommen werden. Dann sind die Bedingungen erfüllt, die Gruppe dem Zwickauer Gesetze unterordnen zu lassen. Eine Kontrolle dieser Annahme auf Grund von Messungen mit dem mir zur Verfügung stehenden Reflexionsgoniometer war wegen der Größe des Krystalles nicht möglich.

Die Gruppe wurde nachträglich mit Flußsäure geätzt. Dabei zeigte sich, daß Individuum I in complicierter Weise aus Linksquarz und Rechtsquarz sich zusammensetzt, die in Dauphinéer und Brasilianerart sich durchdringen. Am oberen Ende sind linksdrehende Partien stark vorherrschend, rechtsdrehende bilden in ihnen Einlagerungen von nur geringer Ausdehnung.

Linksdrehend ist unter anderem die Scholle, auf der Individuum II sitzt. Diese Scholle ist krystallographisch so orientiert, daß auf b_2 rechts oben, gegen ϱ_1 hin, das Auftreten negativer rechter Trapezoëder möglich wäre. Ähnlich wie Individuum I setzt sich auch Individuum II in complicierter Weise zusammen aus Rechtsquarz und Linksquarz. Stark vorherrschend ist Linksquarz. Sein Hauptteil ist so orientiert, daß links oben auf b_2 das Auftreten positiver linker Trapezoëder möglich wäre.

Jedes der beiden Individuen I und II kann seiner Zusammensetzung nach als Quarzcomposit aufgefaßt werden, d. h. als ein Quarzkrystall, aufgebaut aus Partikeln von Links- und Rechtsquarz, diese unter sich parallel oder um 60° in der Hauptaxe gedreht[1]).

Die zwei Quarzcomposite, jeder ein vielgegliedertes Ganze in sich, bilden zusammen, wie einfache Krystalle, einen Zwilling, den Compositzwilling nach dem Zwickauer Gesetz.

d) Quarzzwilling nach dem Zwickauer Gesetz an einer Quarzgruppe von Disentis (Graubünden).

Die Gruppe wurde mir von Herrn Prof. E. Bücking in Straßburg i. E. zur Untersuchung anvertraut. Sie ist in dreimaliger Vergrößerung in Parallelprojection dargestellt in Fig. 4, Taf. I. Fünf Individuen sind miteinander verwachsen. Projectionsebene ist die Prismenfläche b_2 des größten Individuums. Die fünf Individuen sind mit I—V bezeichnet. Regelmäßigkeiten sind vorhanden in der Verwachsung von I mit II, von I mit III, von IV mit V. Zunächst wollen wir uns die Verbindung von I mit II ansehen.

Es sind parallel: die Flächen b_2 von I und b_2 von II

die Zonen $[b_3\ b_2\ b_1]$ von I und $[b_2\ \varrho_1\ r_6]$ von II
$[r_4\ \varrho_3\ b_2]$ von I und $[b_3\ b_2\ b_1]$ von II.

Die Verwachsung ist also als Zwilling nach dem Zwickauer Gesetz zu bezeichnen.

Die Gesetzmäßigkeiten in der Verbindung von II mit I bestehen aber nicht für das ganze Individuum II, sondern nur für einen Teil derselben. Immerhin ist dieser Teil stark vorherrschend. Ein kleiner Teil von II, in der Figur rechts unten liegend, ist mit dem Hauptteil von II nicht genau parallel und damit auch mit I nicht in gesetzmäßige Beziehung zu bringen. Die oberflächliche Trennungslinie zwischen den beiden nicht genau parallelen Teilen von II ist in der Figur angedeutet. Sie verläuft über die Prismenfläche b_1 von unten nach oben und tritt dann hinüber auf die Rhomboëderfläche r_6.

Nun mögen noch die Regelmäßigkeiten in der Verwachsung der

---

1) Vergl. V. Goldschmidt, Über Composite, Compositzwillinge und -Viellinge. Diese Zeitschr. 1907, **43**, 347.

übrigen Individuen der in Fig. 4 abgebildeten Gruppe kurz angedeutet werden.

Wie II ist auch III mit I regelmäßig verwachsen. Ähnlich wie II hat auch III eine Prismenfläche mit I parallel. Während aber dort der Winkel der sich kreuzenden Hauptaxen 42°17′ beträgt, mißt er hier das Doppelte, nämlich 84°33′. Dies ist der für das Japaner Gesetz charakteristische Hauptaxenwinkel. Es fallen hier zusammen die Zonen $[r_4\ \varrho_3\ b_2]$ von II und $[b_2\ \varrho_1\ r_6]$ von I. Beide sind Trapezoëderzonen, also gleichartige Zonen. Dieser Umstand, das Zusammenfallen gleichartiger Zonen beim Japaner Gesetze einerseits, das Zusammenfallen ungleichartiger Zonen beim Zwickauer Gesetze andererseits, zeigt, daß die beiden äußerlich recht ähnlichen Gesetze doch ganz scharfe und formell charakteristische Unterschiede aufweisen.

Ganz eigenartig ist die Verbindung von IV mit V. Die goniometrische Messung hat ergeben, daß die Prismenfläche b_2 von IV und r_2 von V einander parallel sind. Außerdem zeigte sie ein Zusammenfallen der Zonen $[\varrho_3\ b_2]$ von IV und $[b_2\ r_2]$ von V. Das sind Regelmäßigkeiten, wie sie dem Lötschentaler Gesetz eigentümlich sind. Eine ausführliche Darstellung des Gesetzes wird in einem späteren Kapitel gegeben werden.

Endlich möge noch die eigentümlich verzerrte Form des Individuums IV erwähnt werden. Schon P. Groth hat darauf aufmerksam gemacht bei seiner Aufzählung und kurzen Charakterisierung der Quarzkrystalle der Mineraliensammlung der Universität Straßburg (Min. Samml. Univ. Straßburg, S. 99).

Zusammenfassung: Die vorliegende Untersuchung ergibt, daß Quarzkrystalle existieren, die genau dem Zwickauer Gesetz Jenzsch's entsprechen. Das durch Messungen erwiesene genaue Zusammenfallen von Flächen und Zonen, entsprechend dem Wortlaut des Gesetzes in Jenzsch's Fassung, zeigt die Selbständigkeit des Zwickauer Gesetzes gegenüber anderen Gesetzen.

2. Die Gesetze Breithaupt's und Goldschmidt's.

A. Breithaupt schreibt in seinem Handbuche der Mineralogie 1847 **3**, 666: »Noch gibt man ein anderes Gesetz an, Drehungsaxe senkrecht auf $\frac{3}{2}R'$ ($2P2$ Naumann's) Drehungswinkel 180°«. Weitere Angaben, etwa über Fundort oder Messungen, macht er keine.

Das Vorkommen von Breithaupt's Gesetz wurde später bestätigt durch G. Jenzsch[1]). Er fand es an einer in seinem Besitze befindlichen Quarzgruppe unbekannten Vorkommens. Jenzsch definiert das Gesetz folgendermaßen:

Ebene der Hauptaxen beider Krystalle parallel einer Fläche des hexagonalen Prismas b und zweimal je zwei Dihexaëder-Polkanten mit-

1) Pogg. Ann. 1868, **134**, 540.

einander parallel. In einer schematischen Figur hat Jenzsch die verzwillingten Krystalle als vollkommen ausgebildet und einander durchdringend dargestellt.

Als Ergänzung der Jenzsch'schen Darstellung diene Fig. 3, Taf. III, die ein gnomonisches Bild eines Zwillings nach $s = 2P2$ darstellt. Projectionsebene ist die Ebene der Hauptaxen, d. h. die in beiden Individuen parallele Prismenfläche b_2. In das Bild wurden eingetragen die Flächenpunkte von b, r, ϱ, s der beiden Individuen. Die Flächenpunkte b, r, ϱ des einen Individuums sind durch gefüllte Ringe, diejenigen des anderen durch leere Ringe angezeigt. Die im Endlichen liegenden Flächenpunkte $s = 2P2$ sind durch kräftige schwarze Punkte markiert.

Im gnomonischen Bilde fallen zusammen:

genau: die Flächenpunkte b_2 und b'_2,

fast genau: die Flächenpunkte r_2 und s'_3; s_2 und r'_2
$\underline{\varrho}_2$ und $\underline{s}'_2$; $\underline{s}_3$ und $\underline{\varrho}'_2$.

genau: die Zonen $[b_1\ r_2\ \varrho_3]$ und $[\varrho'_1\ r'_2\ b'_3]$
$[\underline{r}_1\ \underline{\varrho}_2\ b_3]$ und $[b'_1\ \underline{\varrho}'_2\ \underline{r}'_3]$

fast genau: die Zonen $[b_2\ r_2\ o]$ und $[b'_2\ s'_3\ \varrho'_3]$
$[b_2\ s_2\ \varrho_1]$ und $[b'_2\ r'_2\ o']$.

Innerhalb der genau sich deckenden Zonen sind parallel die in der Projection ins Unendliche fallenden Flächen s_4 und s'_1; $\underline{s}_1$ und $\underline{s}'_4$.

Das Projectionsbild ist symmetrisch in bezug auf die durch das Centrum verlaufende gestrichelte Gerade SS. Diese ist die Spur der auf den Prismenflächen b_2 bzw. b'_2 senkrecht stehenden Zwillingsebene $s_4 = (1\bar{2}11)$, $(1\bar{2}4)$ bzw. $s'_1 = (14\bar{2})$.

Das Bild des einen Krystalles ist gegenüber demjenigen des anderen gedreht um $48^0\,53'$. Dies ist der Neigungswinkel der sich kreuzenden Hauptaxen. Er entspricht dem Neigungswinkel einer Rhombenfläche s zur Axe a.

Die genetische Bezeichnung des Gesetzes läßt sich etwa folgendermaßen aussprechen:

Hauptbinder die Prismenflächen b_2.

Bindezonen je 2 Trapezoëderzonen $b_1\ r_2\ \varrho_3$, und $b_3\ \underline{\varrho}_2\ \underline{r}_1$.

Da gleichartige Zonen das Festhalten in Zwillingsstellung besorgen, gehört das Gesetz zur Gruppe der **Homozwillinge.**

Breithaupt's Gesetz geriet nach Jenzsch's Zeiten in Vergessenheit. In neuerer Zeit wurde es wiedergefunden durch G. Seligmann in Koblenz. Das Gesetz zeigte sich an einer prächtig ausgebildeten Gruppe, die nach Lacroix's Meinung höchst wahrscheinlich aus dem Dauphiné stammt.

Die Seligmann'sche Gruppe wurde durch V. Goldschmidt eingehend untersucht[1]). Dabei zeigte sich, daß die Gruppe nicht genau dem Breithaupt'schen Gesetze entspreche. Der Winkel der sich kreuzenden Hauptaxen der verzwillingten Individuen wurde nicht zu $48^0\,54'$ gefunden, wie es das Gesetz verlangen würde, sondern zu $48^0\,49'$ oder $47^0\,21'$, je nach dem Gewicht, das man den Einzelpositionen beizulegen geneigt war.

---

1) Diese Zeitschr. 1908, **44**, 407.

Goldschmidt führt die Abweichung des gemessenen von dem berechneten Winkel hauptsächlich darauf zurück, daß ein zweites, dem Breithaupt'schen nahestehendes Gesetz bei der Entstehung des Zwillings mitgewirkt habe.

Ein Bild von der Flächen- und Zonendeckung nach diesem zweiten Gesetze gibt Fig. 3, Taf. III. Projectionsebene ist, wie in Fig. 2, die Ebene der Hauptaxen. Die gefüllten Ringe bezeichnen wieder die Flächenpunkte des einen, die leeren diejenigen des anderen Krystalles. Durch kräftige, schwarze Punkte sind wieder die im Endlichen liegenden Flächenpunkte $s = 2P2$ markiert.

Im Bilde fallen zusammen:

genau: die Flächenpunkte b_2 und b'_2,

fast genau: die Flächenpunkte r_2 und s'_3; s_2 und r'_2
ϱ_2 und $\underline{s}'_2$; $\underline{s}_3$ und $\underline{\varrho}'_2$.

genau: die Zonen $[b_2\ r_2\ o]$ und $[b'_2\ s'_3\ \varrho'_3]$
$[b_2\ s_2\ \varrho_1]$ und $[b'_2\ r'_2\ o']$

fast genau: die Zonen $[b_1\ r_2\ \varrho_3]$ und $[\varrho'_1\ r'_2\ b'_3]$
$[\underline{r}_1\ \underline{\varrho}_2\ b_3]$ und $[b'_1\ \underline{\varrho}'_2\ \underline{r}'_3]$.

Das Projectionsbild besitzt keine Symmetrielinie. Symmetrie in bezug auf eine krystallographische Fläche ist nicht vorhanden.

Das Bild des einen Krystalles ist gegenüber demjenigen des anderen gedreht um $47^0\,43'$. Dies ist der Neigungswinkel der Hauptaxen. Es entspricht dem Neigungswinkel einer Dihexaëderpolkante zur Axe a oder dem Complementwinkel der Neigung einer Dihexaëderpolkante zur Axe c.

Die genetische Deutung des Gesetzes läßt sich folgendermaßen aussprechen:

Hauptbinder die Prismenflächen b_2.

Bindezonen je eine Basiszone $b_2\ r_2\ o$ und je eine Trapezoëderzone $b_2\ \varrho_1$.

Da durch Einrichten ungleicher Zonen, Basiszonen mit Trapezoëderzonen, Bindung erfolgt, gehört das Gesetz zur Gruppe der **Heterozwillinge.**

Goldschmidt hat dieses Gesetz mit Jenzsch's Zwickauer Gesetz als identisch betrachtet. Damit war er im Irrtum. Wie ein Vergleich der Figg. 1 und 3 ergibt, kommen nach den beiden Gesetzen nicht die gleichen Zonen zur Deckung. Beim Zwickauer Gesetz sind es Trapezoëderzonen $b\ r\ \varrho$ und Prismenzonen, hier Trapezoëderzonen $b\ r\ \varrho$ und Basiszonen $b\ r\ o$. Dementsprechend ist auch die Neigung der Hauptaxen verschieden, dort beträgt sie $42^0\,17'$, hier $47^0\,43'$. Die Deckungsverhältnisse, die Goldschmidt aufgedeckt hat, sind neu. Das neue Gesetz nenne ich Goldschmidt's Gesetz.

Wie bereits erwähnt, nimmt Goldschmidt an, daß bei der Entstehung des Zwillings aus der Seligmann'schen Sammlung zwei Gesetze mitgewirkt haben, Breithaupt's Gesetz und sein neues Gesetz. Daher betrachtet er den Zwilling als zustande gekommen nach einem Doppelgesetz.

Goldschmidt hat auch versucht, durch eine Diskussion zu entscheiden, welchem der beiden concurrierenden Gesetze der größere Einfluß

bei der endgültigen Fixierung in Zwillingsstellung zuzuschreiben sei. Nach ihm müßte angenommen werden, daß das Goldschmidt'sche Gesetz (bei Goldschmidt Zwickauer Gesetz) das stärkere sei. Dem mag so sein. Es scheint mir aber, daß Goldschmidt den Einfluß des Breithaupt'schen Gesetzes bei der Diskussion zu niedrig angeschlagen hat; denn nach diesem Gesetze decken sich die Trapezoëderzonen $[b_1\ r_2\ \varrho_3]$ und $[\varrho_1'\ r_2'\ b_3']$, bzw. $[r_1\ \varrho_2\ b_3]$ und $[b_1'\ \varrho_2'\ r_3']$ nicht nur nahezu, wie Goldschmidt irrtümlicherweise angenommen hat, sondern genau. Weiteres Studium der Frage an geeignetem Material erscheint darum notwendig zur eventuellen Entscheidung der Frage.

Weil es unter diesen Umständen heute als kaum möglich erscheint, mit Sicherheit den Einfluß des einen und des anderen Gesetzes gegeneinander abzuwägen, scheint es mir im weiteren angezeigt, das Doppelgesetz einstweilen nicht nach dem einen der beiden Gesetze zu nennen, sondern ihm vorläufig einen Doppelnamen zu geben. Ich schlage vor, das Doppelgesetz nach den Autoren der beiden mitwirkenden Gesetze das Breithaupt-Goldschmidt'sche Gesetz zu nennen.

Quarzzwillinge nach dem Breithaupt-Goldschmidt'schen Gesetz sind bis jetzt große Seltenheiten. Trotz systematischen Suchens ist es mir bis heute nicht gelungen, mehr als noch einen Zwilling nach diesem Gesetz aufzufinden. Dieser neue Belag für das Gesetz stammt von Brusson im Piemont. Er reicht, was Größe und Schönheit anbelangt, nicht im entferntesten heran an den herrlichen Seligmann'schen Krystall.

Die Gruppe von Brusson ist in Parallelprojection dargestellt in Fig. 5, Taf. I. Drei ungleich große Individuen sind miteinander verwachsen. Individuum I ist 5 cm lang, 3 cm breit, 17 mm dick; Individuum II 2 cm lang, 12 mm breit, 10 mm dick; Individuum III 2 mm lang, 2 mm breit, 1 mm dick.

Alle drei Individuen haben die Primenfläche b_2 parallel. II und I sind miteinander verbunden nach dem Japaner Gesetze, III und I nach dem Breithaupt-Goldschmidt'schen Gesetze.

Die Unterordnung der Verwachsung der Individuen III und I unter das Breithaupt-Goldschmidt'sche Gesetz geschah auf Grund der folgenden Messungsdaten:

Die goniometrische Messung erwies die genaue Parallelität von b_2 von III mit b_2 von I. Im weiteren zeigte sich ein Zusammenfallen der Zonen $b_2\ r_2$ von III mit $b_2\ \varrho_1$ von I. Die Rhomboëderfläche r_2 von III lieferte allerdings keinen vollständig einheitlichen Reflex, sondern eine Anzahl nahe beieinander liegender Reflexe. Von diesen lag einer genau in der Zone $b_2\ \varrho_1$ von I. Nur diesen Reflex allein berücksichtigend, müßte man die Verwachsung dem Goldschmidt'schen Gesetz zuordnen und annehmen, daß das Breithaupt'sche Gesetz nicht oder nur wenig beigetragen habe

zur Entstehung des Zwillings. In Anbetracht der Rauhigkeit und Unebenheit der Fläche r_2 (III) ist aber ein bestimmtes Urteil hierüber nicht am Platze. Die Gruppe ist darum einstweilen am besten allgemein dem Doppelgesetze Breithaupt-Goldschmidt's unterzuordnen.

Um über das Drehungsvermögen der verzwillingten Individuen III und I Aufschluß zu erhalten, wurde die Gruppe mit Flußsäure geätzt. Individuum I erwies sich als zusammengesetzt aus Rechtsquarz und Linksquarz. Stark vorherrschend ist Rechtsquarz, dieser wieder zusammengesetzt aus Teilen, die gegeneinander in der Richtung der Hauptaxe um 60° gedreht sind. Der größte Teil der rechtsdrehenden Partie ist so orientiert, daß r_2 positives Vorzeichen zukommt. Von dieser Orientierung ist die auch der Teil von I, der III trägt.

Individuum III ist ebenfalls rechtsdrehend. Seine Orientierung ist so, daß r_2 wieder positives Vorzeichen zukommt.

Bei der Ätzung löste sich Individuum III von Individuum I. So wurde es möglich, die Verwachsungsflächen der verzwillingten Individuen zu studieren.

Die Vertiefung, die III in I zurückgelassen hat, ist ganz unbedeutend. Sie mißt ca. $\frac{1}{5}$ mm. Individuum III, das jünger ist als Individuum I und einst auf der Oberfläche von I sich festgesetzt hat, ist seit der Anheftung an I in der Richtung $\perp b_2$ rascher fortgewachsen als I.

Am Grunde der Vertiefung ist eine Fläche, die parallel liegt zu b_2 (III und I). In der Ausdehnung stimmt sie ungefähr überein mit b_2 von III. Individuum II hat sich also nach erfolgter Anheftung an I zunächst hauptsächlich flach über I hin ausgebreitet.

Über diese Fläche am Grunde der Vertiefung verläuft eine Richtung, $\pm$ parallel der Combinationskante $b_2 : \varrho_1$ von I.

Aus dem Grunde der Vertiefung führen schmale Flächen herauf auf das Niveau der Fläche b_2 von I. Zwei von diesen dürften etwa die Prismenflächen b_4 und b_6 von III darstellen. Andere scheinen weder Flächen von III, noch solchen von I zu entsprechen. Vielleicht sind sie als Übergangsflächen von einem Krystall zum anderen zu deuten.

3. Das Japaner Gesetz [Zwillinge nach $\xi = (1\bar{2}12)$, $(2\bar{1}\bar{5})$].

Quarzzwillinge nach $\xi = (1\bar{2}12)$, $(2\bar{1}\bar{5})$ wurden zum erstenmal erwähnt von C. S. Weiß[1]). Seither sind sie oft beschrieben worden. Es ist das bekannteste Gesetz der Quarzzwillinge mit nichtparallelen Hauptaxen. Da Zwillinge nach diesem Gesetze in großer Zahl namentlich aus Japan gekommen und in allen Sammlungen zu finden sind, wird es jetzt häufig Japaner Gesetz genannt[2]).

1) Abh. Berliner Akad. 1829, 77.

2) V. Goldschmidt, Tscherm. Mitt. 1905, N. F. **24**, 173; Ausz. diese Zeitschr. **44**, 100.

Eine Übersicht über die Flächen- und Zonendeckung eines Zwillings nach ξ läßt sich gewinnen an Hand der Fig. 4, Taf. III, die eine gnomonische Projection eines solchen darstellt. Projectionsebene ist die in beiden Individuen parallele Prismenfläche b_2. Darin sind die Punkte von I durch gefüllte, die von II durch leere Ringe markiert. Doppelte Ringe bezeichnen Deckpunkte.

Im Bilde fallen zusammen:

genau: die Flächenpunkte b_2 und b'_2
$\underline{r_1}$ » ϱ'_1
ϱ_3 » $\underline{r'_3}$
$\underline{s_2}$ » $\underline{s'_2}$
s_3 » $\underline{s'_3}$
die Zonen $[\underline{r_1}\ b_2\ \varrho_3]$ und $[\varrho'_1\ b'_2\ \underline{r'_3}]$

fast genau: die Zonen $[\underline{r_3}\ b_2\ \varrho_1]$ und $[\underline{r'_1}\ b'_2\ \varrho'_3]$.

Das Projectionsbild ist symmetrisch in bezug auf die durch das Centrum verlaufende, gestrichelte Symmetrielinie SS. Diese ist die Spur der auf den Prismenflächen b_2 bzw. b'_2 senkrecht stehenden Zwillingsebene $\xi_4 = [1\bar{2}\bar{1}2]$ bzw. $\xi'_1 = [\bar{1}2\bar{1}2]'$.

Das Bild des einen Krystalles ist gegenüber demjenigen des anderen gedreht um $84^0\,33'$. Dies ist der Winkel der sich kreuzenden Hauptaxen. Er entspricht dem doppelten Neigungswinkel einer Dihexaëder-Polkante zur Hauptaxe.

Aus dem gnomonischen Bilde läßt sich die genetische Bezeichnung des Gesetzes ablesen.

Bei Goldschmidt lautet sie:

Hauptbinder: die Prismenfläche b_2, in zweiter Linie $\varrho_1\ r_6$.

Hauptbindezone: die Trapezoëderzone $\varrho_1\ r_6$.

Den genetischen Vorgang zur Verknüpfung der Partikel I und II können wir uns nach Goldschmidt vorstellen als: Anhaften durch Einrichten der Normalen von b_2 (dann ist noch eine Drehung um die Axe $\perp b_2$ möglich) und Fixieren in Zwillingsstellung durch Einschnappen der Zone $b_2\ \varrho_3\ r_4$ von I mit Zone $b_2\ r'_1\ \varrho'_6$ von II.

Neben dieser von Goldschmidt gegebenen genetischen Deutung des Gesetzes ist noch an eine andere Deutung zu denken. Sie würde lauten:

Bindezone: $b_2\ \varrho_1\ r_6$.

Binder: $b_2\ \varrho_1\ r_6$.

Den genetischen Vorgang zur Verknüpfung der Partikel I und II hätten wir uns nach dieser Deutung vorzustellen als: Anhaften durch Einrichten der Trapezoëderzone $b_2\ \varrho_1\ r_6$ (dann ist noch eine Drehung um die Axe dieser Zone, d. h. um die Kante $\varrho_1 : r_6$ möglich) und Fixieren in Zwillingsstellung durch Einschnappen von b'_2 mit b_2, ϱ'_1 mit r_4, r'_6 mit ϱ_3.

Die beiden genetischen Deutungen des Gesetzes sind also:

1. Binder b_2, Drehung $84^0\,33'$.

2. Bindezone $b_2\ \varrho_1\ r$, Drehung 180^0.

Ich glaube annehmen zu dürfen, daß beide Deutungen berechtigt sind. Deutung 1 dürfte am Platze sein beim gewöhnlichen Typus der Zwillinge nach ξ, der Abplattung nach der Bindefläche b_2 zeigt. Deutung 2 scheint mir berechtigt zu sein bei dem viel selteneren Typus, bei dem die Ab-

plattung der verzwillingten Individuen fehlt und diese als Doppelpyramiden ausgebildet sind. Zwillinge nach ξ von diesem Typus hat J. Drugman erwähnt aus dem porphyrischen Quarzandesit von Estérel[1].

Im Laufe der letzten Jahre hatte ich Gelegenheit, mich eingehend mit dem Studium von Quarzzwillingen nach ξ vom Typus der Japaner Krystalle zu beschäftigen. Das meiste Material, das mir zur Verfügung stand, stammt von Brusson im Piemont. Quarzzwillinge nach ξ von diesem Orte hat schon L. Colomba beschrieben in der Publication: »Osservazioni mineralogiche sui giacimenti auri feri di Brusson (Valle d'Aosta[2]. Zwei weitere Zwillinge von Brusson sind abgebildet in der Fig. 6 u. 7, Taf. I der hier vorliegenden Arbeit. Neben Zwillingen nach ξ kommen in Brusson auch Drillinge und Vierlinge nach dem gleichen Gesetz vor.

Meine Studien bezogen sich hauptsächlich auf den inneren Aufbau und den Habitus der verzwillingten Individuen. Über einige der dabei erzielten Resultate habe ich vor drei Jahren eine vorläufige Mitteilung veröffentlicht[3]. Eine ausführliche Monographie der Quarzzwillinge nach ξ ist in Vorbereitung.

4. Rechtwinklige Druckkreuzungen (C. Friedel).

Bei den rechtwinkligen Druckkreuzungen von künstlichen Quarzkrystallen, die C. Friedel beschreibt[4], haben die verzwillingten Individuen eine Prismenfläche b_2 parallel. Die Neigung der Hauptaxen beträgt 90°.

Goldschmidt, der 1908 eine Zusammenstellung der Zwillingsgesetze des Quarzes veröffentlichte[5], hat das Friedel'sche Gesetz nicht zu den Zwillingen gerechnet. Mit anderen Gesetzen figuriert es bei ihm noch unter den unsicheren Zwillingsgesetzen.

Herr Prof. V. Goldschmidt hatte die große Freundlichkeit, mir Friedel'sches Material zur Untersuchung anzuvertrauen. Das Resultat dieser Untersuchung ist, daß ich Friedel's Angaben von der Existenz rechtwinkliger Druckkreuzungen von künstlichen Quarzkrystallen als durchaus berechtigt bezeichnen muß.

An den mikroskopisch kleinen, äußerst zierlich gebauten Friedel'schen Zwillingen sind meistens zwei Individuen von gleicher Dicke miteinander verwachsen. Seltener ist der Fall, daß das eine dünner ist als das andere. Nach der gemeinsamen Prismenfläche sind sie abgeplattet. Sie erinnern so in ihrem Habitus an die Japaner Zwillinge. Von diesen unterscheiden sie

1) Diese Zeitschr. 1912, **50**, 598.
2) Atti della R. accademia delle scienze di Torino 1906/07, **42**, 921.
3) Centralbl. f. Min., Geol. u. Pal. 1910, 356.
4) Bull. soc. min. Paris 1888, **11**, 19.
5) Diese Zeitschr. 1908, **44**, 407.

sich im wesentlichen nur durch die Größe der Neigung der Hauptaxen. Er beträgt bei Friedel's Gesetz genau 90°, beim Japaner Gesetz 84° 33′.

Daß Friedel's Gesetz der inneren Wahrscheinlichkeit nicht entbehrt, erkennt man leicht, wenn man sich über die Flächen- und Zonendeckung nach diesem Gesetz Rechenschaft gibt. Fig. 5, Taf. III, gibt darüber Aufschluß. Sie ist ein gnomonisches Bild eines Zwillings nach Friedel's Gesetz. Durch ausgefüllte Ringe sind darin die Flächenpunkte des einen, durch leere Ringe diejenigen des anderen Individuums markiert.

Es decken sich: die Flächenpunkte b_2 von I und b_2' von II
die Zonen $[b_2\ r_2\ o]$ von I und $[b_1'\ b_2'\ b_3']$ von II
» $[b_1\ b_2\ b_3]$ von I und $[b_2'\ r_2'\ o']$ von II.

Das Bild ist symmetrisch in bezug auf die Halbierungslinien des von den Hauptaxen gebildeten rechten Winkels der beiden Individuen. Diese Geraden entsprechen, rein geometrisch genommen, Zwillingsebenen der Gruppe. Diese Ebenen sind aber keine am Quarz krystallographisch mögliche Flächen. Ob solchen, vorerst rein ideellen Zwillingsebenen eine genetische Bedeutung zukommt, werden weitere Untersuchungen lehren müssen. Denkbar ist ja, daß längs dieser Ebenen z. B. ein Ausgleich der Partikelkräfte der verzwillingten Individuen stattfindet.

Die genetische Bezeichnung des Zwillingsgesetzes ist folgende:

Hauptbinder: b_2.

Bindezonen: je eine Basiszone $b_2\ r_2\ o$ und je eine Prismenzone $b_1\ b_2\ b_3$.

Den Vorgang der Zwillingsbildung können wir uns vorstellen als: Anhaften durch Einrichten der Normalen von b_2 und Fixieren in Zwillingsstellung durch Einschnappen der Basiszonen mit den Prismenzonen.

Da die Fixierung der Krystalle (bzw. deren Embryonalpartikel) durch Einrichten ungleicher Zonen erfolgt, ist der Zwilling als **Heterozwilling** zu bezeichnen.

Nachdem rechtwinklige Durchkreuzung zweier Quarzindividuen lange Zeit nur an künstlichen Krystallen bekannt war, ist es mir vor kurzem gelungen, dieselbe Regelmäßigkeit in der Verwachsung auch an einer natürlichen Quarzgruppe zu finden.

Die Gruppe, an der ich das Gesetz beobachtet habe, besteht aus einer größeren Zahl von Individuen, von denen mehrere interessante Regelmäßigkeiten in der Verwachsung zeigen. Von dieser Gruppe wurde in Fig. 8, Taf. I, das dargestellt, was uns hier besonders interessiert. Andere Regelmäßigkeiten sollen an anderer Stelle abgebildet und beschrieben werden.

Individuum I der Gruppe ist 5 mm breit und (im ganzen) 14 mm lang. Es trägt auf der Prismenfläche b_2 ein zierliches, $\frac{1}{2}$ mm langes zweites Kryställchen. Im Goniometer zeigte sich ein genauer Parallelismus der Fläche b_2 dieses kleinen Individuums II mit b_2 von I. Weitere Resultate waren goniometrisch nicht zu erlangen. Die Messung unter dem Mikroskop ergab, daß die Prismenkanten von II senkrecht stehen zu denjenigen von I. Die Verwachsung der beiden Individuen darf also dem Friedel'schen Gesetz untergeordnet werden.

Bei der eben beschriebenen Gruppe ist Individuum II jünger als Individuum I. Man darf gespannt sein, ob es gelingen wird, rechtwinklige Durchkreuzungen von natürlichen Quarzkrystallen nach Friedel's Gesetz zu finden, bei denen aus der Ausbildung der Gruppe geschlossen werden könnte auf ein ehemaliges Zusammentreten von Embryonalpartikeln zum Embryonalzwilling nach diesem Gesetze und nachheriges Weiterwachsen zum Zwillingskrystall.

Übersicht.

In Fig. 6, Taf. III, sind die fünf besprochenen Gesetze: das Zwickauer Gesetz Jentzsch's; Goldschmidt's Gesetz; Breithaupt's Gesetz; das Japaner Gesetz; Friedel's Gesetz zu einem Sammelbilde vereinigt.

Das Bild enthält die gnomonischen Projectionen von sechs Krystallen. Von jedem Krystalle sind zur Darstellung gelangt drei Prismenflächen (b_1, b_2, b_3) und sechs Rhomboëderflächen (ϱ_1, r_2, ϱ_3, r_1, ϱ_2, r_3). Die Flächenpunkte der einzelnen Krystalle sind unterschieden durch gefüllte, $\frac{3}{4}$ gefüllte, $\frac{1}{2}$ gefüllte, $\frac{1}{4}$ gefüllte Ringe, Ringe mit einem Durchmesserkreuz und leere Ringe. Projectionsebene ist die in allen Individuen parallele Prismenfläche b_2.

Von den sechs Krystallbildern ist eines (das durch gefüllte Ringe ausgezeichnete) als feststehend gedacht. Die anderen sind um die gemeinsame, auf dem Projectionsbilde senkrecht stehende Axe b_2 um einen bestimmten Betrag gedreht. Die Drehung ist für jeden Krystall so weit durchgeführt, daß im Bilde eine oder (gleichzeitig) zwei seiner Hauptzonen mit einer oder gleichzeitig) zwei Hauptzonen des feststehenden ersten Bildes sich decken.

Je nach der Größe der Drehung decken sich Basiszone und Trapezoëderzone, Basiszone und Prismenzone, Trapezoëderzone und Trapezoëderzone, Trapezoëderzone und Prismenzone. Durch diese verschiedenen Arten der Zonendeckung unterscheiden und charakterisieren sich die einzelnen Zwillingsgesetze.

In den Fällen, wo gleiche Zonen sich decken, handelt es sich um Homozwillinge, in den Fällen, wo ungleiche Zonen sich decken, um Heterozwillinge.

Die fünf besprochenen Gesetze lassen sich an Hand unserer Fig. 6, Taf. III, nach der Größe des Drehwinkels folgendermaßen gruppieren (s. nebenstehende kleine Tabelle).

Aus der Figur läßt sich im weiteren entnehmen, daß die Reihe der Zwillingsgesetze nach der Größe des Drehwinkels in zwei Gruppen zerfällt. Die eine Gruppe, A, umfaßt drei Gesetze mit kleinerem, die andere Gruppe, B, zwei Gesetze mit größerem Drehungswinkel. Zur Gruppe A gehören das Zwickauer Gesetz, Breithaupt's Gesetz, Goldschmidt's Gesetz mit Drehungswinkeln von $42^\circ 17'$, $47^\circ 43'$ und $48^\circ 54'$; zur Gruppe B sind zu zählen das Japaner Gesetz und Friedels Gesetz mit Drehwinkeln von $84^\circ 33'$ und 90°.

Dreh-Axe	Dreh-Winkel	Einschnappen	Gruppe	Name des Gesetzes	Autor
b_2	42°17′	$[b_1\ b_2\ b_3]$ mit $[\varrho_1\ b_2\ \underline{r_3}]$ $[\underline{\varrho_1}\ b_2\ \varrho_3]$ » $[b_1\ b_2\ b_3]$	Heterozwilling	Zwickau	G. Jenzsch F. Zyndel
b_2	47 43	$[\underline{r_3}\ b_2\ \varrho_1]$ mit $[b_2\ r_2\ o]$ $[\underline{b_2}\ r_2\ o]$ » $[\underline{r_1}\ b_2\ \varrho_3]$	Heterozwilling	Goldschmidt	V. Goldschmidt F. Zyndel
b_2	48 54	$[b_1\ r_2\ \varrho_3]$ mit $[b_3\ r_2\ \varrho_1]$ $[b_3\ \underline{\varrho_2}\ \underline{r_1}]$ » $[b_1\ \underline{\varrho_2}\ \underline{r_3}]$	Homozwilling zw. Ebene: $s = (1\bar{2}4)$	Breithaupt	A. Breithaupt
b_2	84 33	$[\varrho_3\ b_2\ \underline{r_1}]$ mit $[\underline{r_3}\ b_2\ \varrho_1]$	Homozwilling zw. Ebene: $\xi = (2\bar{1}5)$	Japan	C. S. Weiß
b_2	90	$[b_1\ b_2\ b_3]$ mit $[b_2\ r_2\ o]$ $[b_2\ r_2\ o]$ » $[b_1\ b_2\ b_3]$	Heterozwilling	C. Friedel	C. Friedel F. Zyndel

Innerhalb der Gruppe A stehen Goldschmidt's und Breithaupt's Gesetz einander näher als Goldschmidt's Gesetz und das Zwickauer Gesetz. Breithaupt's Gesetz und Goldschmidt's sind praktisch vielleicht überhaupt nicht zu trennen; sie summieren ihre Kräfte zur Erzeugung eines Zwillings nach einem Doppelgesetz (Quarzdoppelgesetz Breithaupt-Goldschmidt). Diesem Doppelgesetz gegenüber ist Jenzsch's Zwickauer Gesetz unabhängig und selbständig.

Der Nachweis der Unabhängigkeit des Zwickauer Gesetzes Jenzsch's von dem Quarzdoppelgesetz Breithaupt-Goldschmidt's ist in genetischer Hinsicht sehr interessant. Er erlaubt uns einen Schluß auf die Größe des von einem Zwillingsgesetz beschriebenen Raumes. Wir sehen hier, daß die kräftigen Basis- und Trapezoëder-Deckzonen des Doppelgesetzes Breithaupt-Goldschmidt, die unter Winkeln von nur 6°37′ bzw. 5°26′ an den charakteristischen Deckzonen des Zwickauer Gesetzes vorbeistreichen, den Verknüpfungsvorgang nach diesem letzteren Gesetze, nämlich Einschnappen von Basiszonen mit Prismenzonen, nicht zu beeinflussen vermögen.

Eine ähnliche Betrachtung läßt sich anstellen hinsichtlich der Gruppe B. Friedel's Gesetz ist, was Größe des Drehungswinkels anlangt, nur um 5°27′ verschieden von dem Japaner Gesetz. Trotz dieser engen Nachbarschaft mit dem Japaner Gesetz vermag es sich aber doch von diesem unabhängig zu halten und Zwillinge zu bilden, die genau den ihm selbst innewohnenden und eigentümlichen Verknüpfungskräften entsprechen.

Mit Berücksichtigung des Umstandes, daß Kraftzonen (Hauptzonen) der Krystalle ihre anziehende und orientierende Kraft nur innerhalb eines verhältnismäßig engen Winkelraumes geltend zu machen vermögen, begreifen

wir nun auch, warum in unserem Falle Quarzzwillinge nach den besprochenen Gesetzen so große Seltenheiten sind. Die Wahrscheinlichkeit, daß die um b_2 — sagen wir langsam — erfolgende Drehung eines Embryonalpartikel II irgendwo außerhalb solcher bestrichenen Räume einer Embryonalpartikel I oder eines Krystalls I Halt macht, ist eben groß. In diesem Falle kommt es nicht zum Einschnappen einer zweiten Kraftrichtung. Wir haben einaxige Verwachsung, und wenn die Partikel II in dieser Stellung sich zu entwickeln vermag neben Partikel I von Krystall I, so entsteht eine einaxige Verwachsung zweier Krystalle. Solche einaxige Verwachsungen von Quarzkrystallen, bei denen Prismenflächen des einen mit solchen des anderen sich decken, ohne daß eine zweite krystallographische Richtung eingerichtet ist, sind in der Tat recht häufig. Wenn sie vor den einfachen Krystallen stark zurücktreten, so mag dies damit zusammenhängen, daß es vereinzelten Partikeln, die an einen älteren Krystall von einer gewissen Größe sich anhaften zu einaxiger Verwachsung, nur schwer gelingen dürfte, zu selbständigen großen Krystallen sich zu entwickeln.

Die oben gewonnene Folgerung, daß die von einem einzelnen Zwillingsgesetze bestrichenen Räume klein seien, läßt noch eine weitere Anwendung zu. Sie ermöglicht nämlich, Aussagen zu machen über die Wahrscheinlichkeit des Auftretens bestimmter Zwillingsgesetze.

Bei den Quarzzwillingen mit nichtparallelen Hauptaxen ist eine recht auffällige Erscheinung u. a. die, daß rechtwinklige Durchkreuzungen so außerordentlich selten, Zwillinge nach dem Japaner Gesetze dagegen relativ häufig vorzukommen scheinen, wo doch die Differenz der Hauptaxenwinkel in einem und im anderen Falle nur $5^0 27'$ beträgt. Ein Grund hierfür mag darin liegen, daß Prismen- und Basiszonen, die bei den rechtwinkligen Durchkreuzungen die Bindung besorgen, nicht so kräftig sind wie die Trapezoëderbindezonen der Japaner Zwillinge. Daneben besteht aber sicher noch ein anderer. Wenn nicht zufällig schon beim ersten Anheften durch Einrichten der Prismenaxen b_2 gleichzeitig ein fast oder ganz genaues Eindecken der Basiszonen mit den Prismenzonen erfolgt, so wie es dem Friedel'schen Gesetze entspricht, so ist die Wahrscheinlichkeit dafür, daß Festhalten und Fixieren nach diesem Gesetz erfolgt, nicht mehr groß. Ist nämlich der Drehwinkel, den die Basiszonen bzw. Prismenzonen nach dem Einrichten von b_2 bis zur Stellung, wo sie nach Friedel's Gesetz einzuschnappen hätten, von einiger Größe, so werden beim Zurücklegen des Weges dahin, für andere Zonen Deckgelegenheiten entstehen und benutzt werden, sodaß Fixierung zu zwillingsmäßiger Verwachsung nach anderen und nicht nach Friedel's Gesetz erfolgt.

Ganz anders und viel günstiger stehen die Verhältnisse für das Japaner Gesetz. Wenn hier auch nicht beim ersten Anheften nach b_2 gleichzeitig die Trapezoëderbindezonen in der Nähe der Einschnappstelle sich befinden,

so können diese, falls die Drehbewegung kräftig genug ist, von weit außerhalb heranwandern, ohne daß für andere Zonen Gelegenheit entstände, einzuschnappen und die Bewegung dadurch aufzuheben. So erhält eben das Japaner Gesetz einen Vorzug vor Friedel's Gesetz.

Die weitere Verfolgung der Frage nach der Wahrscheinlichkeit der verschiedenen Zwillingsgesetze im Sinne des hier angedeuteten Versuches scheint Resultate zu versprechen.

II. Quarzzwillinge mit Deckung von r_2 mit r'_2.

1. Zwillinge nach r(10$\bar{1}$1) (100).

Bei den von G. Rose[1]) beschriebenen Quarzzwillingen von Reichenstein in Schlesien sind die Quarzkrystalle regelmäßig verwachsen mit Calcit, und zwar so, daß die gemeinsame Rhomboëderfläche eines Quarzpärchens parallel ist zu einer (110)-Fläche des Calcits. Es mußte deshalb die Frage gestellt werden, ob es sich hier um eigentliche Quarzzwillinge handle oder um regelmäßige Verwachsung von Quarz mit Calcit, in welchem Falle sich nicht die Quarze gegenseitig orientieren, sondern gemeinsam vom Calcit orientiert werden.

Eck, der Rose's Originalkrystalle wieder untersucht hat, kam zum Resultat[2]), daß die erwähnte Gruppierung der Quarzkrystalle lediglich der gesetzmäßigen Verwachsung des jungen Quarzes und des Kalkspates zuzuschreiben sei.

Nun ist es aber vor einigen Jahren V. Goldschmidt gelungen, zwillingsmäßige Verwachsung zweier Quarzkrystalle nach (100) auch von der Art zu finden, daß allein den Quarzindividuen die bindende Kraft zugeschrieben werden muß[3]). Goldschmidt fand sie an einer Quarzgruppe aus dem Grieserntal im Kanton Uri.

Seither sind durch J. Drugman Quarzzwillinge nach (100) in großer Zahl gefunden worden im Quarzandesit von Esterel in Südfrankreich[4]). Das Gesetz kann also heute als vollständig gesichert betrachtet werden.

Eine Übersicht über die Verhältnisse der Flächendeckung, der Zonendeckung und der Symmetrie der Zwillinge nach R gibt die Fig. 7, Taf. III. Sie ist ein gnomonisches Bild eines nach R verzwillingten Krystallpaares[5]). Durch gefüllte Ringe sind darin angegeben die Flächenpunkte des einen, durch leere Ringe die Flächenpunkte des anderen Individuums. Projectionsebene ist die beiden Individuen parallele Rhomboëderfläche r_2 (100).

1) Pogg. Ann. 1851, **84**, 461.
2) Zeitschr. d. Geol. Ges. 1866, **18**, 428.
3) Tscherm. Mitt. 1905, N. F. **24**, 157.
4) Diese Zeitschr. 1912, **50**, 596.
5) Vergl. V. Goldschmidt, l. c. Taf. I, Fig. 2.

Im Bilde decken sich:

die Flächen	r_2	von I	und	r'_2	von II
die Zonen	$[b_2\ r_2\ o]$	» I	»	$[b'_2\ r'_2\ o']$	» II
» »	$[b_3\ r_2\ \varrho_1]$	» I	»	$[b'_3\ r'_2\ \varrho'_1]$	» II
» »	$[b_1\ r_2\ \varrho_3]$	» I	»	$[b'_1\ r'_2\ \varrho'_3]$	» II

Innerhalb der Deckzonen deckt sich immer nur je ein und derselbe Punkt, während andere Punkte sich nicht decken. Es sind also alles gemeine Deckzonen. Der Deckpunkt ist r_2. Er ist der Schnittpunkt aller 3 Deckzonen.

Das Bild zeigt Symmetrie nach 2 Symmetriegeraden. Die eine entspricht der in beiden Individuen zusammenfallenden Basiszone $b_2\ r_2\ o$, die andere *SS*, der Zwillingsebene.

Goldschmidt gibt zwei genetische Bezeichnungen des Gesetzes.

Deutung A.

Hauptbinder: r_2.

Bindezonen: 1 Rhomboëderzone (hier als Basiszone bezeichnet) $b_2\ r_2\ o$.
2 Trapezoëderzonen $b_1\ r_2\ \varrho_3$; $b_3\ r_2.\varrho_1$.

Nach dieser Deutung hätte man sich den genetischen Vorgang zur Verknüpfung der Partikel I und II vorzustellen als: Anhaften durch Einrichten der Normalen von r_2 (dann ist noch eine Drehung um die Axe $\perp r_2$ möglich, und Fixieren in Zwillingsstellung durch Einschnappen der Basiszonen ($b_2\ r_2\ o$) und von je 2 Trapezoëderzonen. Die Drehung gegenüber der Fixierung zum einfachen Krystall beträgt 180^0.

Deutung B.

Hauptbinder: die Basiszone $b_2\ r_2\ o$.

Binder: r_2, ϱ_5.

Nach dieser Deutung hätte man sich den genetischen Vorgang zur Verknüpfung der Partikel I und II vorzustellen als: Anhaften durch Einrichten der Basiszonen $b_2\ r_2\ o$ (dann ist noch eine Drehung um die Axe dieser Zone, um $a_1\ a_4$ möglich) und Fixieren in Zwillingsstellung durch Einschnappen von r_2 mit ϱ_5. Die Drehung gegenüber der Fixierung zum einfachen Krystall beträgt $76^0\,26'$.

Diese zweite genetische Bezeichnung deckt sich mit der geometrischen in der Fassung, wie sie Jenzsch gegeben hat:

Ebene der Hauptaxen parallel einer Fläche des hexagonalen Prismas a und je zwei Hauptrhomboëderflächen miteinander parallel.

Goldschmidt glaubt, daß es möglich sei, die beiden Deutungen auch praktisch auseinanderzuhalten und in concreten Fällen aus der Verwachsungsart und der Ausbildung der Individuen zu entscheiden, auf welchem der beiden Wege die Verknüpfung zum Zwilling erfolgt sei. So nimmt er an, daß bei dem Grieserntaler Krystall die Deutung A mit Hauptbinder r und Drehung 180^0, bei Rose's Reichensteiner Krystallen dagegen die Deutung B mit Bindezone $b\,r\,o$ und Drehung $76^0\,26'$ anzunehmen sei.

Wie bei manchen anderen Gesetzen, kommt auch bei den Quarzzwillingen nach R wiederholte Zwillingsbildung vor. Von Herrn Dr. F. Krantz in Bonn erhielt ich eine äußerst complicierte Quarzgruppe zur Untersuchung anvertraut, die wahrscheinlich einen Vierling nach R darstellt. Die Untersuchung der interessanten Gruppe ist noch nicht abgeschlossen. Hierüber soll später berichtet werden.

2. Zwillinge nach $p = (10\bar{1}2)$, (411).

Q. Sella[1]) constatierte das Gesetz an einer Gruppe unbekannten Vorkommens im Museum zu Turin. Neue Belege für die Existenz des Gesetzes sind seither keine gefunden worden. Wenn V. Goldschmidt[2]) in seiner zusammenfassenden Publikation »Über die Zwillingsgesetze des Quarz« von 1905 das Gesetz gleichwohl zu den gesicherten Zwillingsgesetzen zählte, so tat er das offenbar deshalb, weil dem Gesetze nach dem Verhältnisse der Flächendeckung und der Zonendeckung eine große innere Wahrscheinlichkeit zukommt. Fig. 8, Taf. III, gibt hierüber Aufschluß. Sie ist ein gnomonisches Bild eines nach $\pm \frac{1}{2}R$ verzwillingten Krystallpaares. Durch gefüllte Ringe sind angegeben die Flächenpunkte des einen, durch leere Ringe die des anderen Individuums. Projectionsebene ist die bei beiden Individuen parallele $\pm \frac{1}{2}R$-Fläche p_2 bzw. π_5.

Im Bilde decken sich:

die Flächen		p_2	von	I	und	π'_5	von	II
»	»	ϱ_1	»	I	»	r'_6	»	II
»	»	ϱ_3	»	I	»	r'_4	»	II
die Zonen	$[b_2\ r_2\ o]$	»	I	»	$[b'_2\ r'_2\ o']$	»	II	
»	»	$[\varrho_1\ p_2\ \varrho_3]$	»	I	»	$[r'_6\ \pi'_5\ r'_4]$	»	II
»	»	$[b_1\ p_2]$	»	I	»	$[b'_4\ \pi'_5]$	»	II
»	»	$[b_3\ p_2]$	»	I	»	$[b'_6\ \pi'_5]$	»	II

Das Bild zeigt Symmetrie nach zwei Symmetriegeraden. Die eine entspricht der in beiden Individuen zusammenfallenden Basiszone $b_2\ r_2\ o$, die andere, SS, der Zwillingsebene.

Ähnlich wie für die Zwillinge nach R lassen sich auch für die Zwillinge nach $\pm \frac{1}{2}R$ zwei genetische Bezeichnungen geben:

Deutung A.
Hauptbinder: ϱ_1 bzw. r_6.
Bindezonen: die Basiszone $[b_2\ r_2\ o]$
die Zone $[\varrho_1\ p_2\ \varrho_3]$ bzw. $[r_6\ \pi_5\ r_4]$.

Nach dieser Deutung hätte man sich den genetischen Vorgang zur Verknüpfung der Partikel I und II vorzustellen als: Anhaften durch Einrichten der Normalen von ϱ_1 bzw. r_6 (dann ist noch eine Drehung um die Axe ϱ_1 bzw. r_6 möglich) und Fixieren in Zwillingsstellung durch Einschnappen der Zonen $[\varrho_1\ \varrho_3]$ von I und $[r'_6\ r'_4]$ von II, $[b_2\ r_2\ o]$ von I und $[b'_2\ r'_2\ o']$ von II. Die Drehung gegenüber der Fixierung zum einfachen Krystall ist gleich dem Supplement eines Rhomboëderpolkantenwinkels nämlich $86^0\ 04'$.

Deutung B.
Hauptbinder: die Basiszone $b_2\ r_2\ o$.
Binder: $\varrho_1\ \varrho_3,\ r'_6\ r'_4$.

Nach dieser Deutung hätte man sich den genetischen Vorgang zur Verknüpfung der Partikel I und II vorzustellen als: Anhaften durch Einrichten der Basiszonen $b_2\ r_2\ o$ (dann ist noch eine Drehung um die Axe dieser Zone, um $a_1\ a_4$ möglich) und Fixieren

1) Mem. Ac. Torino 1856, **17**, S. 35, Taf. VI.
2) Tscherm. Mitt. 1905, N. F. **24**, 169.

in Zwillingsstellung durch Einschnappen der Zonen $[\varrho_1\ \varrho_3]$ von I und $[r'_6\ r'_4]$ von II. Die Drehung gegenüber der Fixierung zum einfachen Krystall ist gleich dem Supplement der doppelten Neigung einer Polkante des Quarzrhomboëders zur Hauptaxe, nämlich 64° 50′.

Die zweite genetische Fassung deckt sich mit der geometrischen in der Fassung, wie sie Jenzsch gegeben hat:

Ebene der Hauptaxen parallel einer Fläche des hexagonalen Prismas a und je zwei Rhomboëderpolkanten miteinander parallel.

Es liegt die Vermutung nahe, daß es möglich sein wird, die genetischen Deutungen A und B auch praktisch auseinanderzuhalten, ähnlich wie das durch V. Goldschmidt bei den Zwillingen nach R bereits versucht worden ist.

Das Wesentliche in der Deutung A der Zwillinge nach R und der Zwillinge nach $\frac{1}{2}R$ ist die Annahme, daß das erste Anhaften zweier Quarzpartikel erfolge durch Einrichten einer Rhomboëderflächennormale oder mit einer Rhomboëderflächennormale der anderen Partikel, und Fixieren zu zwillingsmäßiger Verwachsung geschehe durch nachheriges Einschnappen von Zonen der einen mit Zonen der anderen Partikel.

Charakteristisch für diese beiden Zwillingsgesetze ist im weiteren, daß das Fixieren in Zwillingsstellung erfolgt durch Deckung gleichartiger Zonen der verschiedenen Individuen. Beide Gesetze gehören deshalb zur Gruppe der Homozwillinge.

Nun darf wohl vermutet werden, daß — analog einigen Gesetzen mit erstem Anheften durch Einrichten der Prismennormalen — auch nach erstem Anheften der Rhomboëdernormalen — Fixierung zu zwillingsmäßiger Verwachsung auch bewerkstelligt werden könne durch Einschnappen von ungleichartigen Zonen der beiden Individuen. Mit anderen Worten: es liegt die Vermutung nahe, daß auch in der Gruppe: Hauptbinder r, Drehung um die Normale von r, das Vorkommen von Heterozwillingen wahrscheinlich sei. Die Möglichkeiten der Flächenzonendeckung berücksichtigend, gelangen wir dazu, zwei weitere Gesetze für wahrscheinlich zu halten. Es sind dies

3. Die hypothetischen Gesetze A und $\mathfrak{A}$.

Ein Zwilling nach dem hypothetischen Gesetze A ist in gnomonischer Projection dargestellt in Fig. 9, Taf. III. Gefüllte Ringe bezeichnen die Flächenpunkte des einen, leere Ringe diejenigen des anderen Krystalles. Projectionsebene ist die beiden Individuen gemeinsame Rhomboëderfläche r_2.

Im Bilde decken sich:

die Flächen	r_2		von I	und	r'_2	von II
die Zonen	$[b_1\ r_2\ \varrho_3]$	»	I	»	$[b'_2\ r'_2\ o']$	» II
»	» $[b_2\ r_2\ o\ ]$	»	I	»	$[b'_3\ r'_2\ \varrho'_1]$	» II.

Zu bemerken ist noch, daß außerdem je ein Rhomboëderpunkt des einen Individuums fast genau in die Prismenzone des anderen fällt; es fällt nämlich

ϱ_1	von I	fast genau in die Prismenzone				$[b'_1\ b'_2\ b'_3]$	von II
ϱ'_3	» II	»	»	»	»	$[b_1\ b_2\ b_3]$	» I.

Den genetischen Vorgang zur Verknüpfung der Partikel I und II hätten wir uns vorzustellen als: Anhaften durch Einrichten der Normalen von r_2 (dann ist noch eine Drehung um die Axe $\perp r_2$ möglich) und Fixierung in Zwillingsstellung durch Einschnappen von je einer Basiszone mit je einer Trapezoëderzone. Die Drehung gegenüber der Fixierung zum einfachen Krystall beträgt $70^0\,21'$. Dieser Winkel entspricht dem Winkel einer Quarzdihexaëderpolkante zur Combinationskante des Dihexaëders mit darunter liegendem Prisma.

Ein Zwilling nach dem hypothethischen Gesetze $\mathfrak{A}$ ist in gnomonischer Projection dargestellt in Fig. 10, Taf. III. Gefüllte Ringe bezeichnen die Flächenpunkte des einen, leere Ringe diejenigen des anderen Krystalles. Projectionsebene ist die beiden Individuen gemeinsame Rhomboëderfläche r_2.

Im Bilde decken sich:

die Flächen r_2 von I und r'_2 von II
die Zonen $[b_3\ r_2\ \varrho_1]$ von I und $[b'_2\ r'_2\ o']$ von II
» » $[b_2\ r_2\ o\ ]$ « I » $[b'_1\ r'_2\ \varrho'_3]$ » II.

Den genetischen Vorgang zur Verknüpfung der Partikel I und II hätten wir uns vorzustellen als: Anheften durch Einrichten der Normalen von r_2 (dann ist noch eine Drehung um die Axe $\perp r_2$ möglich) und Fixieren in Zwillingsstellung durch Einschnappen je einer Basiszone mit je einer Trapezoëderzone. Die Drehung gegenüber der Fixierung zum einfachen Krystall beträgt $109^0\,29'$. Dieser Winkel ist supplementär zu dem Winkel einer Quarzdihexaëderpolkante zur Combinationskante des Dihexaëders mit dem darunter liegenden Prisma.

Die beiden Gesetze A und $\mathfrak{A}$ stehen sich sehr nahe. Wenn wir nur die hier gegebene genetische Bezeichnung des einen und des anderen Gesetzes berücksichtigen, scheint es überhaupt nicht tunlich, die beiden Gesetze zu trennen. Bei beiden lautet sie:

Hauptbinder: r.
Bindezonen: je eine Basiszone $b\,r\,o$ und je eine Trapezoëderzone $b\,r\,\varrho$.

So könnte man zunächst glauben, daß die beiden Figuren 9 und 10 nur zwei verschiedene Verwachsungsarten zweier Individuen nach ein und demselben Gesetze darstellen würden. So habe ich die Sachlage früher selbst auch aufgefaßt. In einer vor einigen Jahren erschienenen Notiz über Quarzzwillinge[1]) wurden die beiden Gesetze noch nicht getrennt. Ich erwähnte damals für die beiden Gesetze ein einziges Gesetz. Es würde in der dort gegebenen Fassung dem hier als Gesetz A bezeichneten Gesetze entsprechen. Die Beschreibung lautete:

Deckflächen r_2 und r'_2
Deckzonen $b_1\ r_2\ \varrho_3$ und $b'_2\ r'_2\ o'$.

Heute glaube ich, daß die beiden Gesetze getrennt werden müssen. Für die Trennung sprechen folgende Gründe:

Zunächst bestehen formelle Unterschiede zwischen den beiden Gesetzen. Wir erkennen sie einerseits bei einer genaueren Betrachtung und

1) Verh. schweiz. naturf. Ges. 1910, **1**, 209.

Vergleichung der Figuren 9 und 10, andererseits aus der Gegenüberstellung der nach jeder der beiden Verwachsungsarten auftretenden Differenzen zwischen den in den Deckzonen liegenden Flächennormalen.

Die Figuren 9 und 10 stimmen wohl darin überein, daß nach jedem der in den Figuren dargestellten Gesetze, A und $\mathfrak{A}$, die Rhomboëderpunkte r_2 sich decken und je eine Basiszone mit je einer Prismenzone zusammenfällt. Sie unterscheiden sich aber dadurch, daß nach Gesetz A außerdem je ein den Deckzonen nicht angehörender Rhomboëderpunkt des einen Individuums fast genau in die nicht in der Deckzone liegende Prismenzone des anderen Individuums fällt, während dies bei Gesetz $\mathfrak{A}$ nicht der Fall ist.

Die Rechnung ergibt, daß die Winkeldifferenzen der in den Deckzonen liegenden Flächennormalen des einen und des anderen Individuums verschieden sind nach den beiden Gesetzen. Bei Gesetz A kommen Winkeldifferenzen vor von $28^0\,39'$ und $57^0\,18'$, bei Gesetz B dagegen solche von $8^0\,03'$ und $36^0\,42'$.

Mit diesen Unterschieden mehr formeller Natur dürften andere im Zusammenhange stehen, die den inneren Bau der verzwillingten Individuen betreffen. Auf Grund der an Zwillingen nach anderen Gesetzen erlangten Resultate vermute ich, daß der Ausgleich der Partikelkräfte der nach dem einen und nach dem anderen Gesetze verzwillingten Individuen ein verschiedener sein wird. Es ist nach Mitteln und Wegen zu suchen, diese Unterschiede nachzuweisen.

Übersicht.

In Fig. 11 der Taf. III sind:

das hypothetische Gesetz A;
das Sardische Gesetz;
das hypothetische Gesetz $\mathfrak{A}$;
das Reichenstein-Grieserntaler Gesetz

zu einem Sammelbilde vereinigt.

Das Bild enthält die gnomonischen Projectionen von 5 Krystallen. Von jedem Krystall sind zur Darstellung gelangt 3 Prismenflächen (b_1, b_2, b_3), 4 Rhomboëderflächen (ϱ_1, r_2, ϱ_3, $\underline{\varrho_2}$), eine Fläche des Rhomboëders $\pm\frac{1}{2}R$, (p_2), und eine Basisfläche (o). Die Flächenpunkte der einzelnen Krystalle sind unterschieden durch gefüllte, dreiviertelgefüllte, halbgefüllte, einviertelgefüllte, und leere Ringe. Projectionsebene ist die in allen Individuen parallele Prismenfläche r_2.

Von den 6 Krystallbildern ist eins (das durch gefüllte Ringe ausgezeichnete) als feststehend gedacht. Die anderen sind um die gemeinsame, auf der Projectionsebene senkrecht stehende Axe r_2 um einen bestimmten Betrag gedreht. Die Drehung ist für jeden Krystall soweit durchgeführt,

daß ihm angehörende Hauptzonen mit solchen des feststehenden ersten sich decken.

Je nach dem Betrage der Drehung decken sich Basiszone und Basiszone, Basiszone und Trapezoëderzone, Trapezoëderzone und Trapezoëderzone. Durch die verschiedenen Arten der Zonendeckung unterscheiden und charakterisieren sich die einzelnen Zwillingsgesetze.

Wenn gleiche Zonen sich decken, handelt es sich um Homozwillinge, wenn ungleiche Zonen sich decken, um Heterozwillinge.

Für die vier Gesetze erhalten wir folgende Übersicht:

Drehaxe	Drehwinkel	Einschnappen	Klasse	Name des Gesetzes	Autor
r_2	70° 21′	$[b_1 r_2 \varrho_3]$ mit $[b_2 r_2 o]$ $[b_2 r_2 o]$ » $[b_3 r_2 \varrho_1]$	Heterozwilling	A	F. Zyndel
r_2	86° 04′	$[b_3 \varrho_3 o]$ mit $[b_1 \varrho_4 o]$ $[r_2 \pi_3 r_4]$ » $[r_2 \pi_1 r_6]$	Homozwilling	Sardinien Zw.-Ebene: $p, \pi = \pm \frac{1}{2} P$	Q. Sella
r_2	109° 39′	$[b_3 r_2 \varrho_1]$ mit $[b_2 r_2 o]$ $[b_2 r_2 o]$ » $[b_1 r_2 \varrho_3]$	Heterozwilling	$\mathfrak{A}$	F. Zyndel
r_2	180°	$[b_2 r_2 o]$ mit $[b_2 r_2 o]$ $[b_1 r_2 \varrho_3]$ » $[b_1 r_2 \varrho_3]$ $[b_3 r_2 \varrho_1]$ » $[b_3 r_2 \varrho_1]$	Homozwilling	Reichenstein-Grieserntal	G. Rose V. Goldschmidt

III. Quarzzwillinge mit Deckung von b_2 mit r'_2.

1. Das Zinnwalder Gesetz Jenzsch's.

G. Jenzsch[1] definierte das Zwickauer Gesetz folgendermaßen:

»Ebene der Hauptaxen parallel einer Fläche des hexagonalen Prismas *a* und je zwei Dihexaëderflächen des einen mit zwei Flächen des hexagonalen Prismas *b* des anderen parallel.«

Jenzsch's Zinnwalder Gesetz geriet, ähnlich wie das Zwickauer Gesetz desselben Autors, bald in Vergessenheit. C. Hintze führt es wieder auf in seinem Handbuche der Mineralogie, Bd. 1, S. 1335, ist aber der Ansicht, »daß es nur in der von Jenzsch gewählten Ausdrucksweise einen Schein von Existenzmöglichkeit besitze, im übrigen jeglicher Krystallonomie entbehre«.

Ähnlicher Meinung wie Hintze war früher auch V. Goldschmidt[2]. Neuere Studien führten ihn zu einer anderen Ansicht. In seiner Publikation

1) Pogg. Ann. 1867, **130**, 597; 1868, **134**, 540.
2) Tscherm. Mitt. 1905, N. F. **24**, 181.

»Über Quarz« [1]) schreibt er über das Zinnwalder Gesetz: »Ich halte auch dieses für in sich wahrscheinlich und erwarte dessen Bestätigung durch erneuten Nachweis.«

Ich bin nun in der Lage, diesen Nachweis liefern zu können. Ich kenne heute fünf Vertreter des Gesetzes. Einen Zwilling nach dem Zinnwalder Gesetze fand ich anläßlich geologischer Aufnahmen in Schams (Graubünden) in den Halden des alten Silberbergwerkes auf Alp Taspin. Zwei weitere Zinnwalder Zwillinge stammen aus der Viamala bzw. aus dem Schyn (Kanton Graubünden). Einen vierten Vertreter des Gesetzes konnte ich entdecken an einer Quarzgruppe von Disentis, die mir Herr Dr. Engelmann in Basel zur Untersuchung anvertraut hat; ein fünfter, unbekannten Vorkommens, liegt in der Sammlung des Basler Gymnasiums.

Von diesen 5 Zwillingen nach dem Zinnwalder Gesetz will ich hier den Engelmann'schen genauer beschreiben.

Die Gruppe ist in Parallelprojection dargestellt in Fig. 9, Taf. I.

Ein 7 cm langer, $3\frac{1}{2}$ cm dicker Quarzkrystall trägt eine Anzahl kleinerer Individuen, die teils regelmäßig, teils unregelmäßig mit ihm verwachsen sind. Von diesen kleinen Krystallen ist in der Figur nur einer dargestellt. Er ist hier als II bezeichnet.

Individuum II ist 1,5 mm lang, 1,5 mm breit, 0,5 mm dick. Davon sind ausgebildet die gewöhnlichen Prismenflächen und Rhomboëderflächen und außerdem eine Rhombenfläche $s = 2P2$. Bei genauer Betrachtung zeigt sich, daß die große Rhomboëderfläche r'_2 von II parallel liegt zu b_2 von I und gleichzeitig b'_2 von II parallel r_2 von I. Die goniometrische Messung ergab, daß dieses Zusammenfallen nicht nur angenähert, sondern vollständig genau ist. Damit war festgelegt, daß die Verwachsung von II mit I als Zwilling nach Jenzsch's Zinnwalder Gesetz zu deuten sei.

Ähnlich wie bei dem Engelmann'schen Krystall sind auch bei den anderen oben erwähnten die für das Gesetz charakteristischen Regelmäßigkeiten einwandfrei vorhanden. Jenzsch's Zinnwalder Gesetz darf deshalb als gesichert gelten.

Eine Übersicht über die Verhältnisse der Flächen- und Zonendeckung eines Zwillings nach dem Zinnwalder Gesetze gibt Fig. 12, Taf. III. Sie stellt den Zwilling in gnomonischer Projection dar. Projectionsebene ist die Prismenfläche b_2 des einen Individuums und damit gleichzeitig die Rhomboëderfläche des anderen Individuums.

Im Bilde decken sich:

die Flächen: b_2 von I und r'_2 von II
r_2 » I » b'_2 » II
die Zonen: $[b_2 r_2 o]$ von I und $[b'_2 r'_2 o']$ von II.

---

1) Diese Zeitschr. 1908, **44**, 407.

Von Bedeutung ist weiterhin, daß 2 Rhomboëderflächen von II, die nicht in der Deckzone $b_2' r_2' o'$ liegen, in Trapezoëderzonen von I, und umgekehrt 2 Rhomboëderflächen von I, die ihrerseits nicht in der Deckzone $b_2 r_2 o$ liegen, fast genau in Trapezoëderzonen von II fallen.

Das gnomonische Bild gibt uns auch Aufschluß über die Zugehörigkeit des Zwillings zur Klasse der Homozwillinge oder der Heterozwillinge.

Wie man sieht, deckt sich eine Basiszone des einen mit einer Basiszone des anderen Individuums. Es decken sich also gleichartige Zonen. Auf den ersten Blick scheint es sich deshalb um einen Homozwilling zu handeln. Wenn wir aber sehen, daß innerhalb der Deckzone Rhomboëderflächen des einen mit Prismenflächen des anderen Individuums sich decken, daß also ungleichartige Flächen parallel sind, können wir den Zwilling nicht mehr als Homozwilling betrachten. Wir müssen ihn zur Klasse der Heterozwillinge zählen. Als solchen hat ihn auch Goldschmidt in einer Tabelle der Quarzzwillinge aufgeführt.

Aus dem gnomonischen Bild lassen sich die folgenden genetischen Bezeichnungen des Gesetzes ablesen:

Deutung A.
Hauptbinder: b_2, r_2
Bindezonen: je eine Basiszone $b_2 r_2 o$.

Nach dieser Deutung können wir uns die Verknüpfung von Partikel I mit Partikel II folgendermaßen vorstellen:

Das erste Anhaften erfolgt so, daß eine Rhomboëderaxe r_2 von II mit einer Prismenaxe b_2 von I sich parallel stellt. Dann ist noch eine Drehung um diese gemeinsame Axe b_2 von I bzw. r_2 von II möglich. Festhalten in Zwillingsstellung erfolgt dadurch, daß die Basiszone $b_2 r_2 o$ von II mit der Basiszone $b_2 r_2 o$ von I sich einrichtet.

Deutung B.
Hauptbinder: die Basiszone $b_2 r_2 o$
Binder: b_2, r_2.

Nach dieser Deutung können wir uns die Verknüpfung der Partikel I mit Partikel II folgendermaßen vorstellen:

Das erste Anhaften erfolgt so, daß die Basiszone $b_2 r_2 o$ von II mit der Basiszone $b_2 r_2 o$ von I sich parallel stellt. Dann ist noch eine Drehung möglich um die Axe dieser Zone, um $a_1 a_4$. Festhalten in Zwillingsstellung erfolgt dadurch, daß r_2 von II mit b_2 von I, b_2 von II mit r_2 von I sich einrichtet.

Die Deutung B ist auch von Goldschmidt gegeben worden.

Mit Hilfe der genetischen Deutung B läßt sich das Zinnwalder Gesetz in enge Beziehung bringen zum Reichenstein-Griesserntaler Gesetz und zum Sardischen Gesetz. Für alle drei Gesetze können wir annehmen, daß das erste Anhaften der Embryonalpartikel erfolgt durch Parallelstellen einer Zone bro je eines der zum Zwilling sich orientierenden Individuen und Festhalten durch Einschnappen von Prismenflächen und Rhomboëderflächen und der von ihnen gebildeten Zonen. Je nach der Größe der Drehung um die Axe der Deckzone bro kommen ganz

bestimmte und für eines der drei Gesetze charakteristische Deckungsverhältnisse zustande.

In die unten folgende Tabelle ist mit den genannten drei Gesetzen: Zinnwalder Gesetz, Sardisches Gesetz, Reichenstein-Grieserntaler Gesetz noch ein viertes Gesetz aufgenommen worden. Es ist einstweilen hypothetisch. Eine gewisse innere Wahrscheinlichkeit muß ihm aber doch zugeschrieben werden. Sie beruht darin, daß, nachdem einmal ein erstes Anhaften durch Parallelstellen der Zonen bro erfolgt ist, es auch solchen Zonen gelingen wird, Festhalten in Zwillingsstellung auszuüben, die nicht über Flächen b, r oder ϱ verlaufen. Hier müßte es sich um die Basiszone des Prismas zweiter Stellung, nämlich um die Zone a, s, o [$\bar{1}2\bar{1}0$, $\bar{1}2\bar{1}1$, 0001], [$10\bar{1}$, $4\bar{2}1$, 111] und um die Prismenzone $b_6 a_1 b_1$ [$\bar{1}100$, $\bar{1}2\bar{1}0$, $01\bar{1}0$], [$2\bar{1}\bar{1}$, $10\bar{1}$, $\bar{1}2\bar{1}$] handeln. Die Drehung gegenüber der Fixierung zum einfachen Krystall beträgt 90^0. Das Gesetz wäre ein Pendant zu den rechtwinkligen Durchkreuzungen C. Friedels. Es möge vorläufig als Gesetz R bezeichnet werden.

Tabellarisch lassen sich die vier Gesetze nun folgendermaßen gruppieren:

Drehaxe	Drehwinkel	Einschnappen	Gruppe	Name des Gesetzes	Autor
bro	$38^0\,13'$	b_2 mit r_2' r_2 » b_2	Heterozwilling	Zinnwald	G. Jenzsch
bro	$64^0\,50'$	p_2 mit π_5 ϱ_1 » r_6 ϱ_3 » r_4	Homozwilling Zw.-Eb. $= \frac{1}{2} R$	Sardinien	Q. Sella
bro	$76^0\,26'$	r_2 mit r_2 $[b_1 r_2 \varrho]$ » $[b_1 r_2 \varrho_3]$ $[b_3 r_2 \varrho_1]$ » $[b_3 r_2 \varrho_1]$	Homozwilling Zw.-Eb. $= R$	Reichenstein-Grieserntal	G. Rose V. Goldschmidt
bro	90^0	$[b_1 a_1 b_6]$ mit $[a_1 s_1 o]$ $[a_1 s_1 o]$ » $[b_6 a_1 b_1]$	Heterozwilling	R	F. Zyndel

2. Das Lötschentaler Gesetz und das Gesetz L.

Ein Zwilling nach dem Lötschentaler Gesetz ist in Parallelprojection abgebildet in Fig. 10, Taf. II. Er gehört dem Solothurner Museum.

Zwei ungleich große Individuen I und II sind miteinander verwachsen. Individuum I ist 7 cm lang, $4\frac{1}{2}$ cm breit, 4 cm dick. Nur das eine Ende

besitzt Rhomboëderflächen. Die Trapezoëderfläche oben rechts auf b_2 wurde als $(4\bar{1}2)$ bestimmt.

Individuum II ist 4 mm lang, 2 mm breit, 1 mm dick. Davon sind ausgebildet 4 Prismenflächen, 4 Rhomboëderflächen, eine Trapezoëderfläche und eine ganz schmale Rhombenfläche $s = 2P2$.

Die Messung ergab folgende Regelmäßigkeiten in der Art der Verwachsung der beiden Individuen:

Es sind parallel { die Flächen b_2 von I und r'_2 von II
die Zonen $[b_2\ \varrho_1\ r_6]$ von I und $[b'_2\ r'_2\ o']$ von II

Damit war festgelegt, daß zwillingsmäßige Verwachsung vorliege. Da ungleiche Flächen und ungleiche Zonen sich decken, ist der Zwilling als **Heterozwilling** zu bezeichnen. Nach dem Fundorte Lötschental des hier beschriebenen Zwillings hat das Gesetz seinen Namen erhalten.

Der Krystall aus dem Lötschental ist nicht der einzige Vertreter des Gesetzes geblieben.

Nach dem Lötschentaler Gesetze sind verbunden die Individuen IV und V der in Fig. 4, Taf. I, abgebildeten und auf S. 21—22 dieser Arbeit schon kurz beschriebenen Gruppe von Disentis. Es sind, wie dort bereits erwähnt worden ist, parallel die Flächen b_2 von IV und r_2 von V, die Zonen $[\varrho_3\ b_2]$ von IV und $[b_2\ r_2]$ von V.

Drei weitere, in meinem Besitze befindliche Zwillinge nach dem Lötschentaler Gesetze stammen von Seedorf (Kanton Uri). Bei zwei von diesen Zwillingen ist das Größenverhältnis und die Ausbildung der verzwillingten Individuen ähnlich wie bei der hier beschriebenen Gruppe aus dem Lötschental. Nur ist die Abplattung von II nach der Rhomboëderfläche, mit der die Prismenfläche II b_2 von I parallel liegt, viel ausgeprägter als beim Lötschentaler Krystall. Beim dritten Zwilling von Seedorf ist der Größenunterschied der Individuen nicht so groß; damit mag im Zusammenhange stehen, daß das kleinere Individuum nicht abgeplattet ist.

Einen Einblick in die genaueren Verhältnisse der Flächen- und Zonendeckung eines Zwillings nach dem Lötschentaler Gesetz gibt die gnomonische Projection Fig. 13. In dieser Figur sind die Flächenpunkte des einen Individuums durch gefüllte, diejenigen des anderen durch leere Ringe ausgezeichnet.

Im Bilde decken sich:

die Flächen b_2 von I und r'_2 von II
die Zonen $[b_2\ \varrho_1\ r_6]$ von I und $[b'_2\ r'_2\ o']$ von II.

In der Deckzone fallen zusammen eine Trapezoëderzone und eine Basiszone. Sie ist eine Heterodeckzone.

Fast genau decken sich ferner: s_2 von I und b'_2 von II. Die Differenz der Normalenwinkel beträgt nach Rechnung nur 15′.

Im weiteren ist noch erwähnenswert, weil genetisch wichtig, das fast genaue Hineinfallen der Rhomboederfläche ϱ_3' von II in die Trapezoëderzone r_1, ϱ_2, b_3 von I.

Ein Zwilling nach dem Gesetze L ist in Parallelprojection abgebildet in Fig. 11, Taf. II. Er stammt von Seedorf (Kanton Uri). Zwei ungleich große Individuen sind miteinander regelmäßig verwachsen.

Individuum I ist 9 mm lang, 3 mm breit, $2\frac{1}{2}$ mm dick. In der Figur ist nur der obere Teil des Krystalles dargestellt. Am Ende der gezeichneten Hälfte des Krystalles sind sechs Rhomboëderflächen vorhanden. Sie sind abwechselnd groß und klein. Der Krystall zeigt deutlich rhomboëdrischen Charakter.

Individuum II ist $\frac{1}{2}$ mm lang und $\frac{1}{4}$ mm dick. Nach der Prismenfläche b_2 ist es etwas abgeplattet.

Die Messung ergab folgende Regelmäßigkeiten in der Art der Verwachsung der beiden Individuen:

Es sind parallel: die Flächen r_2 von I und b_2' von II.
die Zonen $[b_3 r_2 \varrho_1]$ von I und $[b_2' r_2' o']$ von II.

Damit ist festgelegt, daß die Verwachsung als Zwilling zu bezeichnen sei. Da ungleiche Flächen und ungleiche Zonen sich decken, ist der Zwilling ein **Herotozwilling.**

Das gnomonische Bild Fig. 14, Taf. III, gibt einen Überblick über die Verhältnisse der Flächen- und Zonendeckung des Zwillings. In dieser Figur sind die Flächenpunkte des einen Individuums durch gefüllte, diejenigen des anderen durch leere Ringe ausgezeichnet. Projectionsebene ist die Rhomboëderfläche r_2 des großen und damit gleichzeitig die Prismenfläche b_2 des kleinen Individuums.

Im Bilde decken sich:

die Flächen: r_2 von I und b_2' von II,
die Zonen: $[b_3 r_2 \varrho_1]$ von I und $[b_2' r_2' o']$ von II.

Die Deckzonen sind Heterodeckzonen.

Die genetische Bezeichnung ist folgende:

Hauptbinder: r_2, b_2'.
Bindezonen: $[b_3 r_2 \varrho_1]$ und $[b_2' r_2' o']$.

Den Vorgang der Verknüpfung von Partikel I und II können wir beschreiben als: Anhaften durch Parallelstellen der Axe b_2' mit der Axe r_2, Drehung um deren gemeinsame Axe, Fixieren in Zwillingsstellung durch Einschnappen der Zone $[b_2' r_2' o']$ mit der Zone $[b_3 r_2 \varrho_1]$.

Die genetische Bezeichnung des Lötschentaler Gesetzes ist analog der genetischen Deutung A des Zinnwalder Gesetzes. Während aber bei dem letzteren gleichartige Zonen sich einrichten, kommen beim Lötschentaler Gesetze ungleiche Zonen zur Deckung. Individuum II eines Lötschentaler Zwillings ist gegenüber Individuum II eines Zinnwalder Zwillings um $47^0\,43'$ gedreht.

Das Lötschentaler Gesetz und das Gesetz L stehen sich sehr nahe. In beiden Fällen haben wir die gleichen Hauptbinder b, r und die gleichen Deckzonen, eine Basiszone mit einer Trapezoëderzone. So hat es zunächst den Anschein, daß es sich in den beiden Fällen nur um verschiedene Verwachsungsarten ein und desselben Gesetzes handle. Eine genaue Untersuchung lehrt aber, daß es wahrscheinlich nötig sein wird, die beiden Fälle getrennt zu halten. Wir stehen hier vor einer ähnlichen Frage, wie bei der Untersuchung der schon besprochenen Gesetze A und 𝔄 der vorigen Gruppe.

Schon die Betrachtung der gnomonischen Bilder Fig. 13 und Fig. 14 lehrt, daß die beiden Fälle nicht genau dieselben Verhältnisse aufweisen hinsichtlich Flächen- und Zonendeckung. In den Hauptzügen: Deckung einer Rhomboëderfläche mit einer Prismenfläche und Zusammenfallen einer Basiszone mit einer Trapezoëderzone stimmen sie allerdings überein. In untergeordneten Zügen unterscheiden sie sich ganz bedeutend. So ist es nicht möglich, dem fast genauen Zusammenfallen einer s-Fläche mit einer Prismenfläche b, wie wir es beim Lötschentaler Gesetze erwähnt haben, etwas Analoges beim Gesetze L an die Seite zu stellen. Im weiteren fehlt bei Gesetz L jenes fast genaue Hineinfallen einer Rhomboëderfläche eines Individuums in eine Trapezoëderzone des anderen Individuums, so wie wir es beim Lötschentaler Gesetze gefunden haben. Auch die Rechnung liefert Anhaltspunkte für eine Trennung der beiden Fälle. Wir finden, daß die Winkeldifferenzen der in den Deckzonen liegenden Flächennormalen verschieden sind nach den beiden Gesetzen. Beim Lötschentaler Gesetze kommen Differenzen vor von $28^0\,39'$ und $36^0\,42'$, beim Gesetz L dagegen solche von $28^0\,39'$ und $8^0\,03'$. Dabei sind die Differenzen genommen für je ein in der Deckzone liegendes Paar aufeinander folgenden Flächen des einen oder des anderen Individuums.

Wenn auch diese Differenzen formeller Natur nicht groß sind, so erscheint es doch tunlich, die Gesetze einstweilen auseinanderzuhalten. Studien über den inneren Aufbau der verzwillingten Individuen werden klarlegen, ob es notwendig ist, die Trennung dauernd aufrecht zu erhalten.

3. Das Seedorfer Gesetz I.

In einer Notiz »über regelmäßige Verwachsungen gleichartiger Krystalle« habe ich 1910[1]) die Vermutung ausgesprochen, daß es außer den damals bekannten Zwillingsgesetzen des Quarzes noch drei solcher Gesetze geben müsse. Diese drei hypothetischen Quarz-Zwillingsgesetze wurden damals folgendermaßen beschrieben:

1) Verh. Schweiz. naturf. Gesellsch. 1910, **1**, 209.

a) Deckflächen r_2 und r'_2
Deckzonen $b_1\, r_2\, \varrho_3$ und $b'_2\, r'_2\, o'$
b) Deckflächen r_2 und b'_2
Deckzonen $b_1\, r_2\, \varrho_3$ und $b'_1\, b'_2\, b'_3$
c) Deckflächen r_2 und b'_2
Deckzonen $b_1\, b_2\, b_3$ und $b'_2\, r'_2\, o'$.

Gesetz a) ist in der hier vorliegenden Arbeit ausführlicher behandelt worden auf S. 36. Wie dort ausgeführt wurde, ist es notwendig, das Gesetz zu trennen in zwei, einander allerdings sehr nahe stehende Gesetze. Es sind dies die hypothetischen Gesetze A und 𝔄.

Während Gesetz a), bzw. die Gesetze A und 𝔄, bis heute hypothetisch geblieben sind, ist es seit der Veröffentlichung obiger Notiz geglückt, für die beiden anderen Gesetze, b) und c), Belege zu finden.

Ich habe die Gesetze constatieren können an Quarzen von Seedorf (Kanton Uri). Nach diesem Fundorte nenne ich die beiden Gesetze Seedorfer Gesetz I und Seedorfer Gesetz II. Das Seedorfer Gesetz I entspricht dem Gesetze b), das Seedorfer Gesetz II dem Gesetze c) der 1910 noch hypothetischen Zwillingsgesetze. In einem Referate über einen Vortrag habe ich bereits je einen Vertreter dieser beiden Gesetze kurz beschrieben[1]). Hier sollen die beiden Gesetze nun etwas anschaulicher behandelt werden.

Ein Zwilling nach dem Seedorfer Gesetze I ist abgebildet in Fig. 12, Taf. II. Es handelt sich um die gleiche Gruppe, die in Fig. 1 des oben erwähnten Referates abgebildet worden ist.

Ein $5\frac{1}{2}$ mm langes Individuum trägt auf seinen Rhomboëderflächen eine Anzahl kleinerer Individuen. Fünf von diesen kleinen Individuen sind mit dem großen Individuum nach dem Seedorfer Gesetze I verwachsen.

Zwei von den kleinen Individuen liegen auf $\underline{r}_3$, je eines auf r_2, r_4 und r_6 des großen Individuums. Von den zwei auf $\underline{r}_3$ liegenden Individuen ist das eine, in der oben erwähnten Figur des Referates abgebildet als Individuum B. Bei der dort gewählten Aufstellung des großen Individuums hat $\underline{r}_3$ das Symbol r_2 erhalten.

In der hier gegebenen Fig. 12 ist von den kleinen Individuen das auf r_2 des großen Krystalles liegende abgebildet. Es ist mit II bezeichnet. Es ist äußerst zierlich gebaut. Seine Länge beträgt etwa $\frac{1}{3}$ mm.

In der Art der Verwachsung lassen sich goniometrisch die folgenden Regelmäßigkeiten nachweisen:

Es sind parallel: die Flächen r_2 von I und b'_2 von II.
die Zonen $[b_1\, r_2\, \varrho_3]$ von I und $[b'_1\, b'_2\, b'_3]$ von II.

---

1) Verh. Schweiz. naturf. Gesellsch. 1910, **1**, 912.

Eine Übersicht über diese Verhältnisse der Flächen- und Zonendeckung gibt auch Fig. 15, Taf. III. Sie stellt den Zwilling in gnomonischer Projection dar. Projectionsebene ist r_2 von I oder b'_2 von II.

Genetisch läßt sich das Gesetz folgendermaßen beschreiben:

Hauptbinder: r_2, b'_2.

Bindezonen: $[b_1 r_2 \varrho_3]$ und $[b'_1 b'_2 b'_3]$.

Den Vorgang zur Verknüpfung der Partikel II mit Partikel I können wir uns vorstellen als: Anhaften durch Einrichten von b'_2 mit r_2, Drehung um diese gemeinsame Axe, Fixieren in Zwillingsstellung durch Einschnappen der Prismenzone $[b'_1 b'_2 b'_3]$ mit der Trapezoëderzone $[b_1 r_2 \varrho_3]$.

4. Das Seedorfer Gesetz II.

Ein Zwilling nach dem Seedorfer Gesetz II ist in Parallelprojection abgebildet in Fig. 13, Taf. II. Zwei ungleich große Individuen sind miteinander verwachsen.

Individuum I ist $7\frac{1}{2}$ mm lang, $2\frac{1}{2}$ mm breit, 2 mm dick. In der Figur ist nur seine obere Hälfte dargestellt. Hier besitzt es sechs Rhomboëderflächen. Auf vier dieser Rhomboëderflächen trägt es kleinere Individuen. Eines von diesen ist mit I zwillingsmäßig verwachsen. Dieses ist in der Figur abgebildet worden.

Individuum II ist nur $\frac{1}{2}$ mm lang und $\frac{1}{4}$ mm breit. Nach der Prismenfläche b_2 ist es etwas abgeplattet.

In der Verwachsung der beiden Individuen lassen sich die folgenden Regelmäßigkeiten erkennen:

Es sind parallel: die Flächen r_2 von I und b'_2 von II.
die Zonen $[b_2 r_2 o]$ von I und $[b'_1 b'_2 b'_3]$ von II.

Weitere interessante Einzelheiten über die Verhältnisse der Flächen- und Zonendeckung eines Zwillings nach dem Seedorfer Gesetze II lassen sich aus dem gnomonischen Bilde Fig. 16, Taf. III, herauslesen, in der die Rhomboëderfläche r_2 von I und damit gleichzeitig b'_2 von II als Projectionsebene gewählt ist.

Zunächst ersehen wir auch aus dem gnomonischen Bilde den Parallelismus der Flächen r_2 von I und b'_2 von II und das Zusammenfallen der Zonen $b_2 r_2 o$ von I und $b'_1 b'_2 b'_3$ von II. Im weiteren constatieren wir, daß die zwei Rhomboëderpunkte ϱ'_1 und $\underline{r}'_1$ von II fast genau in die Trapezoëderzonen $[b_1 \underline{\varrho}_2]$ bzw. $[b_3 \underline{\varrho}_2]$ von II fallen. Umgekehrt liegen auch 2 Rhomboëderpunkte von I, nämlich ϱ_1 und ϱ_3, in der Nähe der Trapezoëderzonen $[b'_1 r'_2]$ bzw. $[b'_1 \varrho'_2]$ von II. Unter Umständen mag auch noch von Bedeutung sein, daß die Rhombenflächen s_2 und s_3 von I fast genau auf den Zonenlinien $[s'_2 s'_3]$ bzw. $[\underline{s}'_2 \underline{s}'_3]$ von II liegen. Alle diese untergeordneten Verhältnisse der Flächen- und Zonendeckung können die Bindung der verzwillingten Individuen festigen.

Die genetische Bezeichnung des Gesetzes kann folgendermaßen geschehen:

Hauptbinder: r_2, b'_2.
Bindezonen: $[r_2\, b_2\, o]$ und $[b'_1\, b'_2\, b'_3]$.

Den genetischen Vorgang zur Verknüpfung von Partikel II mit Partikel I können wir uns vorstellen als: Anhaften durch Einrichten von b'_2 mit r_2, Drehung um diese gemeinsame Axe, Fixieren in Zwillingsstellung durch Einschnappen der Zone $[b'_1\, b'_2\, b'_3]$ mit $[b_2\, r_2\, o]$.

5. Das Disentiser Gesetz.

Eine Verwachsung zweier Quarzkrystalle nach diesem Gesetze ist in Parallelprojection dargestellt in Fig. 14, Taf. II. Es handelt sich um die nämliche Quarzgruppe von Disentis, die schon im Abschnitt über das Zinnwalder Gesetz beschrieben wurde. Ein großes Individuum I trägt, wie dort erwähnt, auf seinen Prismen und Rhomboëderflächen eine große Zahl kleinerer Individuen. Eines von diesen, das der Prismenfläche b_2 aufliegt, ist mit I in Zwillingsstellung nach dem Zinnwalder Gesetze und bereits beschrieben worden. Ein zweites liegt auf der Rhomboëderfläche ϱ_3 des großen Individuums. Um dieses, in der Figur mit II bezeichnete Kryställchen handelt es sich hier. Die Gruppe ist im Bilde projiciert auf ϱ_3 von I.

Individuum II ist $1\frac{1}{2}$ mm lang, $\frac{3}{4}$ mm breit, $\frac{1}{4}$ mm dick. An Flächen sind vorhanden: drei Prismenflächen, drei Rhomboëderflächen und eine Rhombenfläche. Die Prismenflächen zeigen Streifung. Sie ist in der Figur angedeutet. Die Messung ergab, daß Individuum II mit der Prismenfläche b'_2 parallel liegt zur Rhomboëderfläche ϱ_3 von I. Im weiteren zeigte sie, daß die Trapezoëderzone $b'_2\, s'_2\, \varrho'_1$ von I zusammenfällt mit der Trapezoëderzone $b_4\, \varrho_3\, r_2$ von I. Damit war erwiesen, daß die Verwachsung als eine zwillingsmäßige zu bezeichnen sei. Wie man sieht, kommen gleichartige Zonen, aber ungleichartige Flächen zur Deckung. Das Gesetz gehört deshalb zur Klasse der Heterozwillinge. Nach dem Vorkommen nenne ich es Disentiser Gesetz.

Fig. 17, Taf. III, stellt einen Zwilling nach dem Disentiser Gesetze in gnomonischer Projection dar. Gefüllte Ringe bezeichnen die Flächenpunkte des einen, leere Ringe diejenigen des anderen Individuums. Das durch die gefüllten Ringe bezeichnete hat dieselbe Lage wie Krystall I in Fig. 14, Taf. II, das durch leere Ringe bezeichnete diejenige von Krystall II der gleichen Figur. Die Flächennumerierung ist aber nicht dieselbe wie in Fig. 14, Taf. II. Gegenüber dieser ist die gnomonische Projection um 60° gedreht. Das geschah, um Übereinstimmung mit allen anderen gnomonischen Figuren zu erhalten, wo überall der Sextant 2 als nach vorn schauend gedacht ist.

Im gnomonischen Bilde decken sich:

die Flächen r_2 von I und b'_2 von II
b_3 » I » r'_3 » II
die Zonen $[b_3\, r_2\, \varrho_1]$ von I und $[r'_3\, b'_2\, \varrho'_1]$ von II.

Die genetische Bezeichnung läßt sich folgendermaßen aussprechen:

Hauptbinder: r_2, b'_2

Bindezonen: $[b_3 r_2 \varrho_1]$ und $[r'_3 b'_2 \varrho'_1]$.

Den genetischen Vorgang zur Verknüpfung von Partikel II mit Partikel I können wir uns vorstellen als: Anhaften durch Einrichten der Normalen von b'_2 mit r_2, Drehung um diese gemeinsame Axe, Fixieren in Zwillingsstellung durch Einschnappen der Zone $[r'_3 b'_2 \varrho'_1]$ mit der Zone $[b_3 r_2 \varrho_1]$.

Übersicht.

In der Fig. 18, Taf. III, sind

das Zinnwalder Gesetz,
das Seedorfer Gesetz I,
das Disentiser Gesetz,
das Lötschentaler Gesetz,
das Gesetz L,
das Seedorfer Gesetz II.

zu einem Sammelbilde vereinigt.

Das Bild enthält die gnomonischen Projectionen von 7 Krystallen. Die Flächenpunkte der einzelnen Krystalle sind dargestellt durch gefüllte, dreiviertelgefüllte, halbgefüllte, viertelgefüllte Ringe, durch Ringe mit einem Durchmesserkreuz, Ringe mit einem Durchmesser und durch leere Ringe. Von dem durch gefüllte Ringe markierten Krystalle sind zur Darstellung gelangt 3 Prismenflächen (b_1, b_2, b_3) und 6 Rhomboëderflächen (r_1, ϱ_2, r_3, $\underline{r}_1$, $\underline{\varrho}_2$, $\underline{r}_3$). Von allen 6 übrigen Krystallen sind markiert 3 Prismenflächen (b_1, b_2, b_3) und 4 Rhomboëderflächen ($\underline{r}_1$, $\underline{\varrho}_2$, $\underline{r}_3$, r_2).

Der durch gefüllte Ringe markierte Krystall ist feststehend gedacht. Die Prismenfläche b_2 dieses Krystalles ist Projectionsebene. Die 6 übrigen Krystalle sind mit dem ersten so verbunden, daß ihre Rhomboëdernormale $\underline{\varrho}_2$ parallel ist zur Prismennormalen b_2 des ersten Krystalles.

Der durch leere Ringe markierte Krystall ist mit dem ersten so verbunden, daß seine Basiszone der Richtung nach übereinstimmt mit derjenigen von I. Er ist also mit diesem in Verbindung nach dem Zinnwalder Gesetze. Von dieser Grund- oder Nullstellung aus sind die noch bleibenden 5 übrigen Krystalle jeder um einen bestimmten Winkel gedreht um die Axe $\underline{\varrho}_2$. Die Drehung ist für jeden der 5 Krystalle so weit durchgeführt, daß eine seiner Zonen mit einer Zone des als feststehend gedachten ersten, durch gefüllte Ringe markierten Krystalles zur Deckung gelangt. Je nach der Drehung kommen zur Deckung Basiszonen und Prismenzonen, Basiszonen und Trapezoëderzonen, Prismenzonen und Trapezoëderzonen, Trapezoëderzonen und Trapezoëderzonen. Durch die verschiedenen Arten der Zonen- und Flächendeckung unterscheiden sich die einzelnen Zwillingsgesetze. Alle gehören zur Gruppe der Heterozwillinge.

Die 6 Gesetze lassen sich an Hand unserer Figur in folgender Art tabellarisch zusammenstellen:

Drehaxe	Drehwinkel	Einschnappen	Klasse	Name des Gesetzes	Autor
b_2 bzw. r_2	0°	$[b_2 r_2 o]$ mit $[o\ \varrho_2\ b_2]$	Heterozwilling	Zinnwald	G. Jenzsch
b_2 bzw. r_2	19° 39′	$[b_1 b_2 b_3]$ mit $[b_1\ \varrho_2\ r_3]$	Heterozwilling	Seedorf I	F. Zyndel
b_2 bzw. r_2	22° 38′	$[r_1 b_2 \varrho_3]$ mit $[r_1\ \varrho_2\ b_3]$	Heterozwilling	Disentis	F. Zyndel
b_2 bzw. r_2	47° 43′	$[r_3 b_2 \varrho_1]$ mit $[o\ \varrho_2\ b_2]$	Heterozwilling	Lötschental	F. Zyndel
b_2 bzw. r_2	70° 21′	$[b_2 r_2 o)$ mit $[r_1\ \varrho_2\ b_3]$	Heterozwilling	L	F. Zyndel
b_2 bzw. r_2	90°	$[b_1 b_2 b_3]$ mit $[o\ \varrho_2\ b_2]$	Heterozwilling	Seedorf II	F. Zyndel

Zusammenfassung und Schluß.

Wir gelangen zu folgender

Übersicht der Quarzzwillinge mit nichtparallelen Hauptaxen:

I. Gruppe. Deckung von b_2 mit b_2'.

1. Zwickauer Gesetz,
2. Goldschmidt's Gesetz } Doppelgesetz,
3. Breithaupt's Gesetz }
4. Japaner Gesetz,
5. Rechtwinklige Durchkreuzung.

II. Gruppe. Deckung von r_2 mi r_2'.

6. Hypothetisches Gesetz A,
7. Sardisches Gesetz,
8. Hypothetisches Gesetz A,
9. Reichenstein-Grieserntaler Gesetz,

III. Gruppe. Deckung von b_2 mit r'_2.

10. Zinnwalder Gesetz,
11. Seedorfer Gesetz I,
12. Disentiser Gesetz,
13. Lötschentaler Gesetz,
14. Gesetz L,
15. Seedorfer Gesetz II.

IV. Gruppe. Deckung von Zonen mit Flächen b, r, ϱ mit Zonen ohne diese Flächen.

16. Hypothetisches Gesetz R.

Von diesen 16 Zwillingsgesetzen waren 8 erkannt und nachgewiesen worden, bevor diese Untersuchung ausgeführt wurde (1, 2, 3, 4, 5, 7, 9, 10).

Im Laufe dieser Untersuchungen sind neu nachgewiesen worden 5 Gesetze (11, 12, 13, 14, 15).

Diesen bis jetzt nachgewiesenen Gesetzen ist gemeinsam, daß die Flächen b, r, ϱ und von ihnen gebildete Zonen sich decken.

Auf Grund dieser Erfahrungstatsache gelangen wir auf geometrischem Wege zur Annahme, daß außer den bereits nachgewiesenen 13 Zwillingsgesetzen noch 2 Gesetze existeren werden vom gleichen Charakter, wieder mit Deckung von Flächen b, r, ϱ und von ihnen gebildeten Zonen. Das sind die 2 hypothetischen Gesetze A und $\mathfrak{A}$ (6, 8).

Diesen 15 Zwillingsgesetzen, alle charakterisiert durch Deckung von Flächen b, r, ϱ und von ihnen gebildeten Zonen, lassen sich wahrscheinlich auch noch solche von anderem Charakter beifügen.

In erster Linie wäre nach Gesetzen zu suchen, bei denen mit aus Flächen b, r, ϱ gebildeten Zonen andere Zonen sich decken, in denen keine von diesen Flächen liegen. Ein solches Gesetz wurde bereits hier als wahrscheinlich bezeichnet. Es ist das hypothetische Gesetz R (16). Ein anderes hierher gehöriges Gesetz liegt vielleicht dem von E. Kaiser (Centralbl. Min. 1900, 94; Ref. diese Zeitschr. **36**, 319) erwähnten Gesetze zugrunde mit Zwillingsebene $-\frac{3}{4}R$. Hierher wären bei erneutem Studium möglicherweise auch die Zwillinge nach $-\frac{5}{8}R$ zu rechnen, die W. G. Brown (Amer. Journ. of Sc. 1885, **30**, 191; Ref. diese Zeitschr. **12**, 320) beschrieben hat.

Im weiteren wird es interessant sein zu untersuchen, ob am Quarze auch zwillingsmäßige, d. h. zweiaxige Verwachsungen vorkommen von der Art, daß bei ihnen überhaupt keine von Flächen b, r, ϱ gebildeten Zonen und nur andere Zonen sich einrichten. Können solche Fälle tat-

sächlich nachgewiesen werden, so wird die Zahl der am Quarze theoretisch überhaupt denkbaren Verwachsungen mit Zwillingscharakter eine sehr große sein.

Jede zwillingsmäßige Verwachsung von zwei Quarzkrystallen besitzt eine bestimmte Eigenart in den äußeren Erscheinungen der Flächen- und Zonendeckung. Eine wichtige Aufgabe des weiteren Studiums der Quarzzwillinge mit nichtparallelen Hauptaxen wird es nun sein, zu untersuchen, ob und inwieweit jedes nach einem bestimmten Gesetze verzwillingte Paar von Quarzkrystallen auch eine charakteristische innere Eigenart besitzt.

Zur Zeit Forest Reserve (Insel Trinidad), April 1913.

Druck von Breitkopf & Härtel in Leipzig.

Lebenslauf.

Ich, Fortunat Zyndel, wurde am 21. Juli 1882 in Maienfeld (Kanton Graubünden) geboren als Sohn des Lehrers Johann Zyndel von Maienfeld und seiner Ehefrau Hortensia, geb. Enderlin. Ich besuchte die Primar- und Sekundarschule meiner Heimatgemeinde, später die Kantonsschule in Chur. Diese verließ ich 1901 mit dem Primarlehrerpatent. Den Sommer und den Herbst 1901 verbrachte ich in Neuenburg, um mich in der französischen Sprache auszubilden. Während der drei Winterhalbjahre 1901—1904 leitete ich die Sekundarschule Flims. Während des Sommersemesters 1903 und vom Frühjahr 1904 bis zum Frühjahr 1906 studierte ich an der Universität Bern. Im März 1906 erwarb ich mir das bernische Sekundarlehrerpatent (Deutsch, Mathematik, Physik, Chemie, Mineralogie und Geologie, Zeichnen). Hierauf nahm ich die Schultätigkeit wieder auf. Vom Frühjahr 1906 bis zum Frühjahr 1911 war ich als Lehrer angestellt an der Knabensekundarschule in Basel. Vom Frühjahr 1908 bis Neujahr 1913 erteilte ich ferner den Unterricht in Mineralogie und Geologie am Basler Obergymnasium. Neben meiner Tätigkeit als Lehrer setzte ich in Basel meine naturwissenschaftlichen Studien fort, hauptsächlich auf dem Gebiete der Mineralogie und Geologie. Um das Studium intensiver betreiben zu können, ließ ich mich von der Sekundarschule zunächst für ein Jahr beurlauben. 1911 gab ich den Schuldienst an der Sekundarschule, Neujahr 1913 auch denjenigen am Obergymnasium auf, um mich ganz der Geologie widmen zu können.

Als Assistent von Herrn Prof. C. Schmidt in Basel betätigte ich mich während mehrerer Sommer an den geologischen Vorarbeiten für eine Splügentunnel-Prognose. Im Anschluß an diese Arbeiten begann ich 1911 im Auftrage der schweizerischen geologischen Kommission mit der selbständigen Neuaufnahme der südöstlichen Teile des Dufourblattes XIV. 1913 war ich während der ersten Hälfte des Jahres in Trinidad, um dort für eine englische Gesellschaft geologische Untersuchungen auszuführen.

Während meiner Studienzeit besuchte ich Vorlesungen und Übungen der folgenden Herren: in Bern: Baltzer, Benteli, Bessire, Brückner, Dachselt, Forster, Friedheim, Girard, Gomperz, Haag, Hess, Kissling, Lüscher, Michaud, Niggli, Ott, Philippson, Praechter, Reichesberg, Ritter, Tscheuschner, Tobler, Walzel, Woker; in Basel: Buxtorf, Fueter, Grossmann, Hagenbach, Preiswerk, Schmidt, Spiess, Tobler, Veillon.

Ich konnte bis jetzt die folgenden Arbeiten veröffentlichen:

1. Krystallographische Untersuchung der β-Cinensäure in Rupe und Altenburg: Über β-Cinensäure (Ber. deutsche chem. Gesellschaft 1908).
2. Über Quarzzwillinge nach ξ $(11\bar{2}2)$ PP_2 von Brusson (Piemont). (Centralbl. für Min., Geol., Pal. 1910).
3. Regelmäßige Verwachsungen gleichartiger Krystalle. (Verh. schweiz. naturf. Gesellsch., 93. Jahresvers. 1910, Basel, Bd. I).
4. Über die Tektonik von Mittelbünden (ebenda).

5. Über den Gebirgsbau Mittelbündens (Beiträge zur geolog. Karte der Schweiz, neue Folge, 41. Lieferung, 1912).
6. Über Quarzzwillinge von Seedorf (Uri) (Verh. schweiz. naturf. Gesellsch., 95. Jahresvers. 1912, Altdorf Bd. I).
7. Quarzzwilling nach dem Zinnwalder Gesetz von Crapteig (Viamala) Graubünden (Jahresber. naturf. Gesellsch. Graub. 1913).
8. Kurze Mitteilung über die Bündner Schiefer-Region des Schams und Avers (Eclogae geolog. Helv., Vol. XII, Nr. 4).

1910 reichte ich der philosophischen Fakultät der Universität Basel eine Arbeit ein als Lösung der von ihr gestellten Preisaufgabe über Quarzzwillinge. Diese Arbeit wurde von der Universität preisgekrönt.

Im schweizerischen Heere bekleide ich z. Zt. den Rang eines Hauptmannes. Ich bin Kommandant der 4. Kompagnie des Gebirgs-Infanteriebataillons Nr. 92.

Zillis (Graubünden), September 1913.

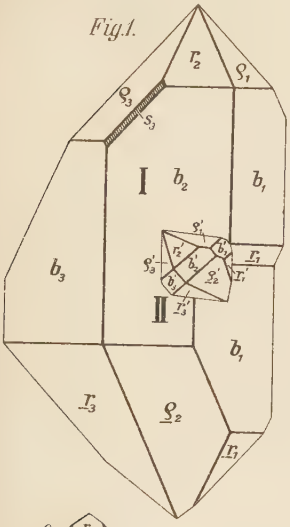
Fig. 1.

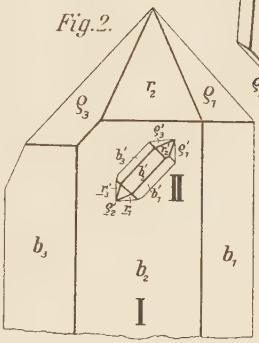
Fig. 2.

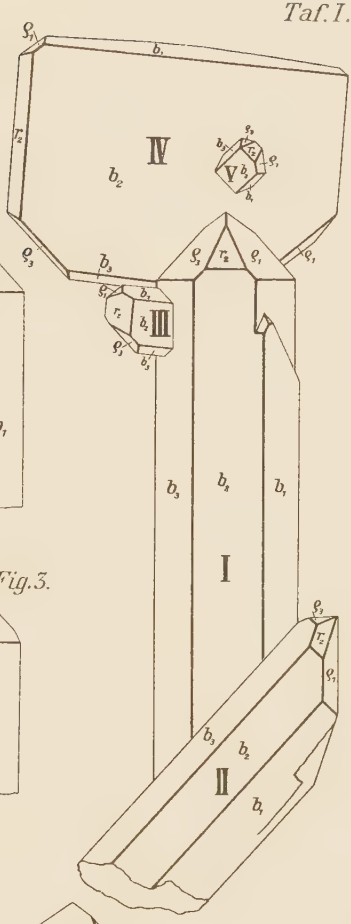
Fig. 4.

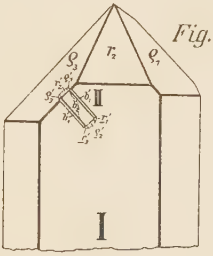
Fig. 3.

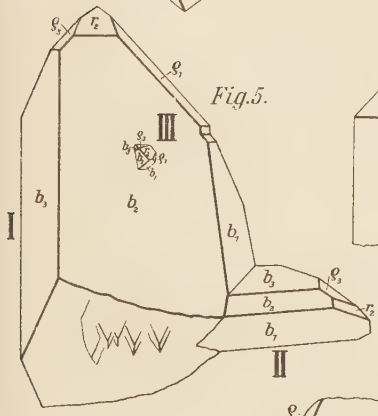
Fig. 5.

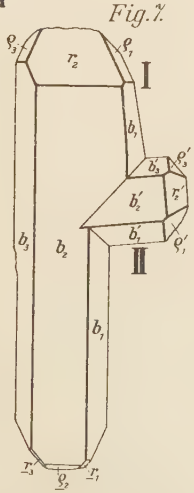
Fig. 7.

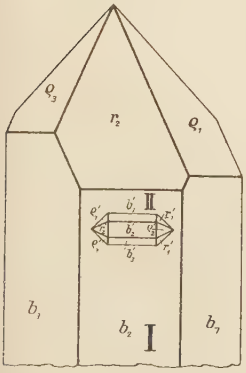
Fig. 8.

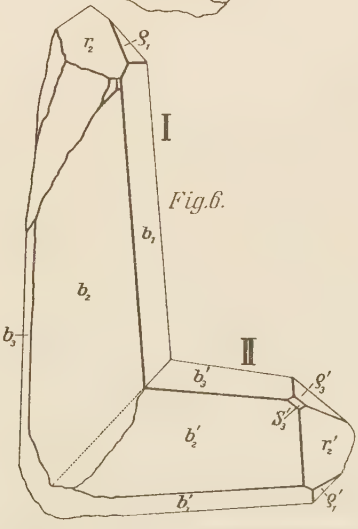
Fig. 6.

Fig. 9.

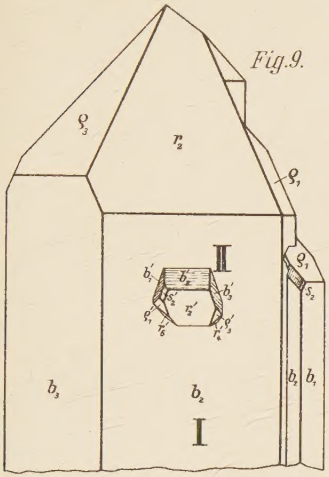

Fig. 10.

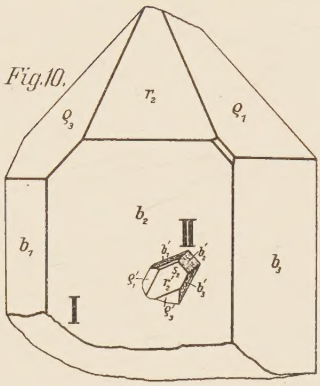

Fig. 11.

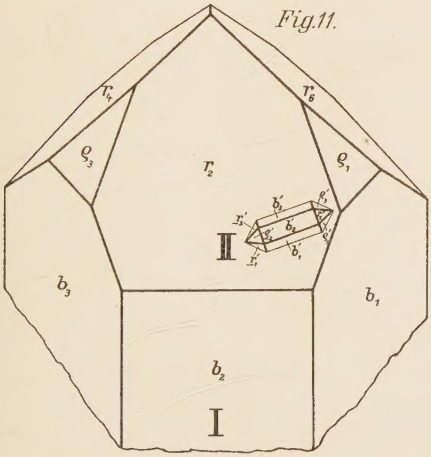

Fig. 12.

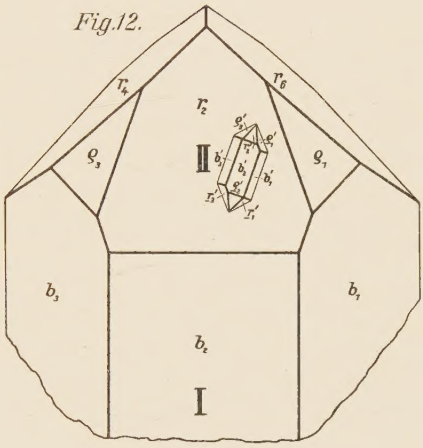

Fig. 13.

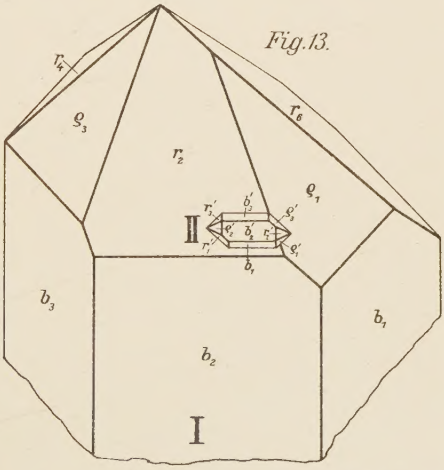

Fig. 14.

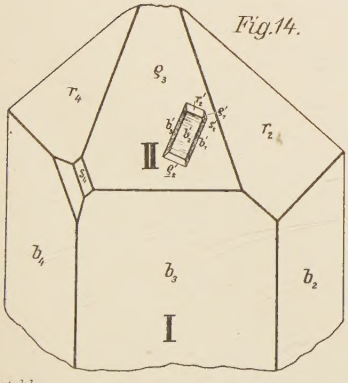

Fig.1.

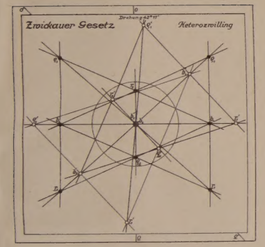

Fig.3.

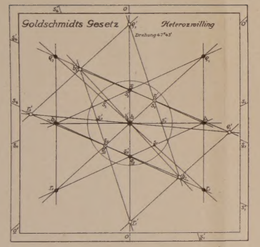

Fig.5.

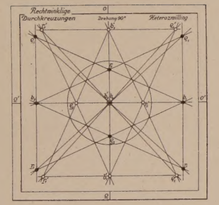

Fig.8.

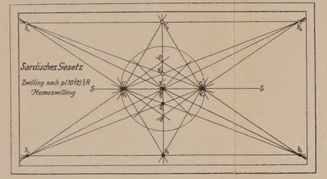

Fig.9.

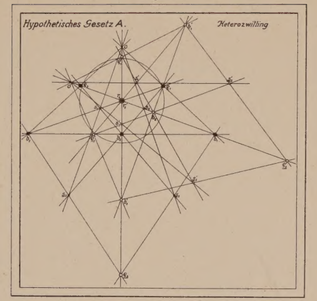

Fig.11.

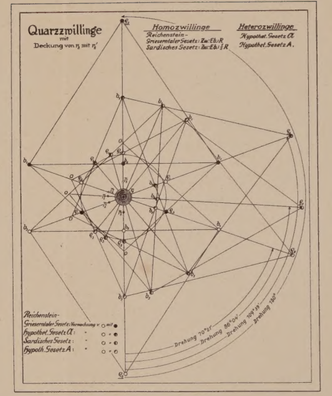

Fig.12.

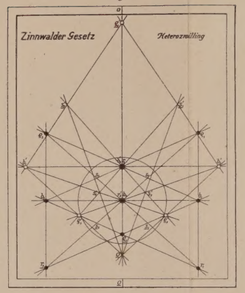

Fig.15.

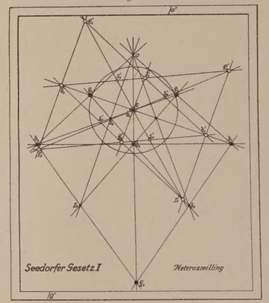

Fig.17.

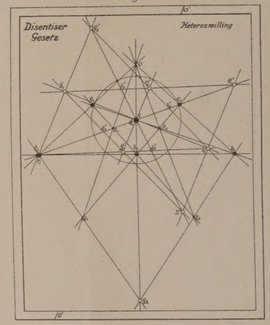

Fig.2.

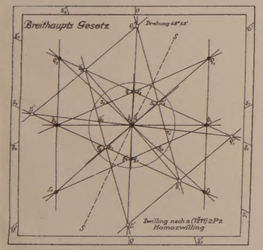

Fig.4.

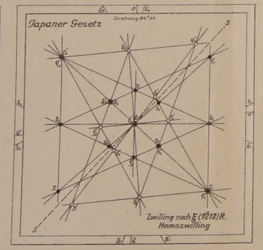

Fig.6.

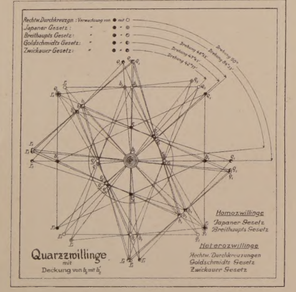

Fig.7.

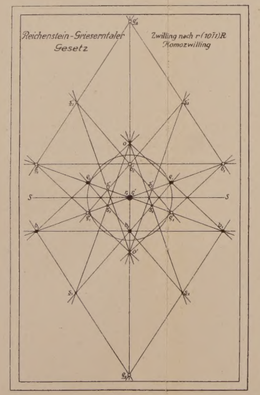

Fig.10.

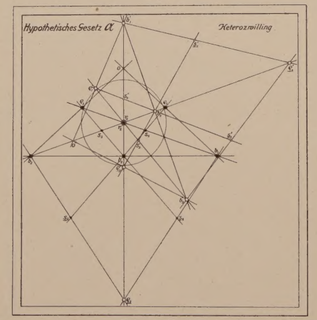

Fig.13.

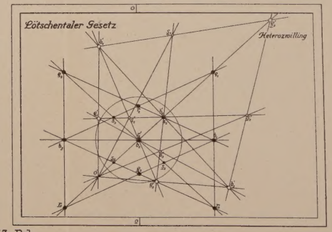

Fig.14.

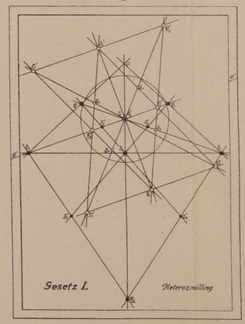

Fig.16.

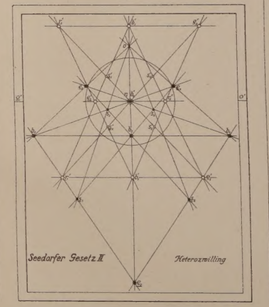
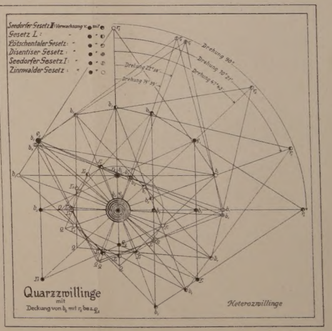
Fig.18.